

**Die Atomabsorptionsspektrometrie
als Methode der arbeitsmedizinischen
Analytik**

von
Altrud Ute Meichssner
—
aus
Amberg

1969 № 360

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozial-Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Professor Dr. med. H.Valentin)

Die Atomabsorptionsspektrometrie als Methode der arbeitsmedizinischen Analytik

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich - Alexander - Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Altrud Ute Meichssner

aus

Amberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen - Nürnberg



Dekan: Professor Dr. med. Valentin

Referent: Professor Dr. med. Koch

Koreferent: Professor Dr. med. Scheiffarth

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Oktober 1969

1.0	Einleitung	1
2.0	Die Bedeutung der Kunst	2
3.0	Die Kunst der Antike	3
4.0	Die Kunst des Mittelalters	4
5.0	Die Kunst der Renaissance	5
6.0	Die Kunst des Barock	6
7.0	Die Kunst des 18. Jahrhunderts	7
8.0	Die Kunst des 19. Jahrhunderts	8
9.0	Die Kunst des 20. Jahrhunderts	9
10.0	Die Kunst der Zukunft	10
11.0	Die Kunst der Gegenwart	11
12.0	Die Kunst der Zukunft	12
13.0	Die Kunst der Gegenwart	13
14.0	Die Kunst der Zukunft	14
15.0	Die Kunst der Gegenwart	15
16.0	Die Kunst der Zukunft	16
17.0	Die Kunst der Gegenwart	17
18.0	Die Kunst der Zukunft	18
19.0	Die Kunst der Gegenwart	19
20.0	Die Kunst der Zukunft	20
21.0	Die Kunst der Gegenwart	21
22.0	Die Kunst der Zukunft	22
23.0	Die Kunst der Gegenwart	23
24.0	Die Kunst der Zukunft	24
25.0	Die Kunst der Gegenwart	25
26.0	Die Kunst der Zukunft	26
27.0	Die Kunst der Gegenwart	27
28.0	Die Kunst der Zukunft	28
29.0	Die Kunst der Gegenwart	29
30.0	Die Kunst der Zukunft	30
31.0	Die Kunst der Gegenwart	31
32.0	Die Kunst der Zukunft	32
33.0	Die Kunst der Gegenwart	33
34.0	Die Kunst der Zukunft	34
35.0	Die Kunst der Gegenwart	35
36.0	Die Kunst der Zukunft	36
37.0	Die Kunst der Gegenwart	37
38.0	Die Kunst der Zukunft	38
39.0	Die Kunst der Gegenwart	39
40.0	Die Kunst der Zukunft	40
41.0	Die Kunst der Gegenwart	41
42.0	Die Kunst der Zukunft	42
43.0	Die Kunst der Gegenwart	43
44.0	Die Kunst der Zukunft	44
45.0	Die Kunst der Gegenwart	45
46.0	Die Kunst der Zukunft	46
47.0	Die Kunst der Gegenwart	47
48.0	Die Kunst der Zukunft	48
49.0	Die Kunst der Gegenwart	49
50.0	Die Kunst der Zukunft	50
51.0	Die Kunst der Gegenwart	51
52.0	Die Kunst der Zukunft	52
53.0	Die Kunst der Gegenwart	53
54.0	Die Kunst der Zukunft	54
55.0	Die Kunst der Gegenwart	55
56.0	Die Kunst der Zukunft	56
57.0	Die Kunst der Gegenwart	57
58.0	Die Kunst der Zukunft	58
59.0	Die Kunst der Gegenwart	59
60.0	Die Kunst der Zukunft	60
61.0	Die Kunst der Gegenwart	61
62.0	Die Kunst der Zukunft	62
63.0	Die Kunst der Gegenwart	63
64.0	Die Kunst der Zukunft	64
65.0	Die Kunst der Gegenwart	65
66.0	Die Kunst der Zukunft	66
67.0	Die Kunst der Gegenwart	67
68.0	Die Kunst der Zukunft	68
69.0	Die Kunst der Gegenwart	69
70.0	Die Kunst der Zukunft	70
71.0	Die Kunst der Gegenwart	71
72.0	Die Kunst der Zukunft	72
73.0	Die Kunst der Gegenwart	73
74.0	Die Kunst der Zukunft	74
75.0	Die Kunst der Gegenwart	75
76.0	Die Kunst der Zukunft	76
77.0	Die Kunst der Gegenwart	77
78.0	Die Kunst der Zukunft	78
79.0	Die Kunst der Gegenwart	79
80.0	Die Kunst der Zukunft	80
81.0	Die Kunst der Gegenwart	81
82.0	Die Kunst der Zukunft	82
83.0	Die Kunst der Gegenwart	83
84.0	Die Kunst der Zukunft	84
85.0	Die Kunst der Gegenwart	85
86.0	Die Kunst der Zukunft	86
87.0	Die Kunst der Gegenwart	87
88.0	Die Kunst der Zukunft	88
89.0	Die Kunst der Gegenwart	89
90.0	Die Kunst der Zukunft	90
91.0	Die Kunst der Gegenwart	91
92.0	Die Kunst der Zukunft	92
93.0	Die Kunst der Gegenwart	93
94.0	Die Kunst der Zukunft	94
95.0	Die Kunst der Gegenwart	95
96.0	Die Kunst der Zukunft	96
97.0	Die Kunst der Gegenwart	97
98.0	Die Kunst der Zukunft	98
99.0	Die Kunst der Gegenwart	99
100.0	Die Kunst der Zukunft	100

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. G. Lehnert danke ich für die freundliche Überlassung des Themas.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. med. D. Szadkowski und Herrn Chem. Ing. (grad.) K.-H. Schaller für ihre großzügige Unterstützung und wertvolle Beratung.

Inhaltsverzeichnis

Seite

1.0	Einleitung	1
2.0	Physikalisches Prinzip	2
2.1	Aufbau eines Atomabsorptionsspektrometers	5
3.0	Bauelemente	9
3.1	Lichtquellen	9
3.11	Hohlkathodenlampen	10
3.12	Hochintensitätslampen und andere	14
3.2	Dissoziations-Absorptionseinheit	15
3.21	Brenner, Flamme und Zerstäuber	15
3.22	Zerstäuberlose Systeme	19
3.3	Monochromatoren	21
3.4	Detektoren	23
3.5	Registriersysteme	24
4.0	Auswahl optimaler Betriebsbedingungen	25
4.1	Resonanzlinie	25
4.2	Spaltbreite	27
4.3	Brenngase	28
4.4	Durchstrahlung der Flamme	30
4.5	Empfindlichkeit	31
4.6	Skalenspreizung	32
5.0	Störfaktoren bei der atomabsorptions- spektrometrischen Messung	33
5.1	Spektralinterferenzen	33
5.2	Chemische Interferenzen	33
5.3	Ionisationsinterferenzen	34
5.4	Matrixinterferenzen	34
6.0	Chemische Aufbereitung des Untersu- chungsmaterials	36
7.0	Analytische Parameter arbeitsmedizinisch relevanter Elemente	38
8.0	Zusammenfassung	39
9.0	Literatur	

Anhang

1.0 Einleitung

In der modernen Medizin geht einmal die Tendenz zunehmend dahin, pathophysiologische Vorgänge durch naturwissenschaftliche Methoden quantitativ zu erfassen und zu objektivieren, zum anderen ist die Früherkennung von Gesundheitsstörungen ein wesentliches Anliegen ärztlicher Bemühungen. Dabei ermöglicht erst die Benutzung von Mikroverfahren eine breite und wiederholte Anwendung labordiagnostischer Verfahren. Wie in allen Bereichen der analytischen Chemie verlagert sich auch hier der Schwerpunkt der Methodik vom klassisch-chemischen in den physikalisch-chemischen Sektor. In der Arbeitsmedizin und anderen toxikologisch ausgerichteten Fächern werden so die oft umständlichen, zeitraubenden und zum Teil mit erheblichen Fehlermöglichkeiten belasteten chemischen Metallbestimmungen zunehmend mehr durch physikalische ersetzt. Hier sind zunächst Polarographie, Funkenspektrometrie und Röntgenfluoreszenz-Analyse zu nennen. In jüngster Zeit hat sich die Atomabsorptionsspektrometrie für eine einfache, zuverlässige und rasche Bestimmung zahlreicher Metalle in biologischen Materialien und für ökologische Untersuchungen bewährt.

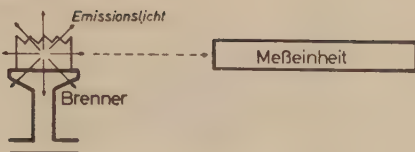
Diese Meßtechnik wurde 1955 von WALSH konzipiert und 1958 von ALLAN und DAVID praktisch angewendet. WILLIS führte 1959 die Atomabsorptionsspektrometrie für die Bestimmung von Metallen in biologischen Materialien ein. Heute ist die Atomabsorptionsspektrometrie nicht nur in der Mineralogie und Metallurgie, sondern auch in medizinischen Laboratorien für viele Metalle das adäquate Analysenverfahren. Eine mehrjährige Erfahrung und neuere technische Fortschritte auf dem Gebiet der Atomabsorptionsspektrometrie machen für die Praxis den nachfolgenden orientierenden Überblick bis zum gegenwärtigen Entwicklungsstand notwendig.

2.0 Physikalisches Prinzip

Befindet sich ein Atom im Grundzustand, so ist nach dem Bohr'schen Atommodell das Elektron der innersten Quantenbahn am stärksten an den Atomkern gebunden. Unter diesen Bedingungen weist das Atom seinen größten negativen Energiewert auf. Um das Elektron auf eine weiter außen gelegene Bahn zu bringen, muß ihm ein bestimmter Energiebetrag, die Anregungsenergie der betrachteten Bahn, zugeführt werden. Durch spontanen Übergang des Elektrons von einer energetisch höheren Quantenbahn auf eine energetisch tiefere wird Energie frei. Dabei wird die Differenz der Energien der Anfangsbahn E_a höherer Energie und der Endbahn E_e geringerer Energie als elementspezifische Spektrallinie der Frequenz ν nach der Bohr'schen Frequenzbedingung $\nu = \frac{E_a - E_e}{h}$ ausgestrahlt (h : Planck'sches Wirkungsquantum).

Diese Energie (Anregungsenergie) mußte vorher zugeführt werden, um das Elektron von der entsprechend niedrigeren auf die korrespondierende höhere Bahn zu bringen. Normale Atome absorbieren in der Regel aber nur die Spektrallinien, deren unterer Zustand der Grundzustand selbst ist (sog. Resonanzlinien). Die Tatsache, daß jedes Element ein charakteristisches Spektrum hat, wird seit langem für analytische Zwecke in der Form der Emissionsspektrographie genutzt. Üblicherweise bedient man sich der thermischen Energie heißer Flammen zur Anregung. Besonders die Atome der Alkali- und Erdalkalimetalle sind damit leicht anregungsfähig. Bei einer derartigen Emissionsflammspektrometrie ist die Intensität des bei der Rückkehr in den Grundzustand frei werdenden Lichts ein Maß für die Konzentration des betreffenden Elements (Abb. 1).

Emission



Absorption

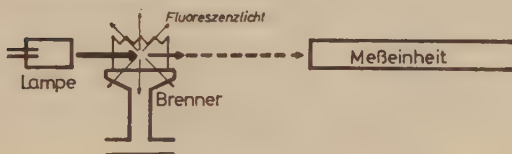


Abb. 1: Schematische Darstellung flammenspektrometrischer Verfahren

Gemessen an der Gesamtzahl der vorhandenen Atome ist aber selbst bei den Alkali- und Erdalkalimetallen der Anteil der angeregten Atome gering. Die Methode ist daher relativ unempfindlich. Schwermetallatome lassen sich auf diese Weise für emissionsspektrometrische Bestimmungen nicht in hinreichender Anzahl anregen.

Neue Aspekte eröffnet für die Metallanalyse die Ausnutzung des Phänomens der Resonanzabsorption (Abb. 2), d.h. die Fähigkeit eines Atoms, die beim Übergang eines Elektrons von energetisch hohen Quantenbahnen in den Grundzustand ausgesandte Spektrallinie unter Bildung angeregter Atome auch absorbieren zu können. Das einer atomabsorptionsspektrometrischen Messung zugrunde liegende Prinzip veranschaulicht Abbildung 2. Eine geeignete Lichtquelle erzeugt das Emissions-

(Linien-)Spektrum des zu bestimmenden Metalls (Abb. 2a).

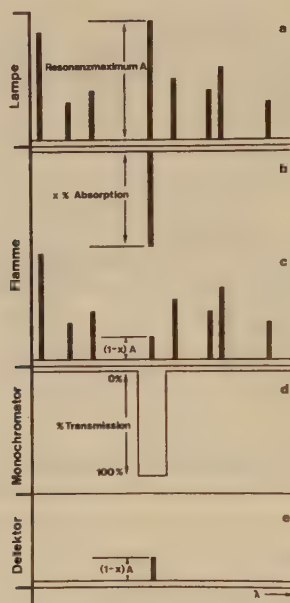


Abb. 2: Prinzip der atomabsorptionsspektrometrischen Messung (nach KAHN [1966])

Fällt dieses auf freie Atome des betreffenden Elements, so absorbieren diese unter Bildung angeregter Atome entsprechend ihrer Konzentration einen bestimmten Anteil der elementspezifischen Resonanzlinien (Abb. 2b), schwächen also deren Intensität (Abb. 2c). Die von der Substanz bei der Absorption aufgenommene optische Energie wird zwar bei der sehr raschen Rückkehr der Atome in ihren Grundzustand in Form eines diffusen Fluoreszenzlichtes mit der gleichen Frequenz wieder abgestrahlt, erfaßt aber ein Empfängersystem nur den kleinen Raumwinkel der eingestrahnten Anregungslinie

und wird die gewählte Analysenlinie vom Spektrum abgesondert (Abb. 2d), so kann der durch Absorption erlittene Intensitätsverlust der Resonanzlinie von einem Detektor nachgewiesen werden (Abb. 2e) und als Maß für die Konzentration des betreffenden Metalls dienen. Molekular gebundene oder als Ionen vorliegende Elemente sind - entsprechend dem Prinzip der Methode - atomabsorptionsspektrometrischen Bestimmungen nicht zugänglich. Für die Messung ist daher die Erzeugung freier Atome eine Voraussetzung. Üblicherweise bedient man sich hierzu einer Flamme, es handelt sich also in der Regel um eine Flammenphotometrie. Hier dient die Flamme jedoch lediglich dazu, die Analysesubstanz zu verdampfen und eine Dissoziation der Atome im Grundzustand herbeizuführen.

2.1 Aufbau eines Atomabsorptionsspektrometers

Die für exakte Bestimmungen notwendigen schmalen Emissionsspektren werden üblicherweise in der von PASCHEN [1916] angegebenen Hohlkathodenlampe erzeugt. Die Kathode dieser Lampe besteht aus dem Element, das man bestimmen will und ist als Hohlzylinder ausgelegt (Kap. 3.11). Die von der Hohlkathodenlampe ausgesandten Lichtstrahlen durchlaufen die Flamme und werden dort durch elementspezifische Absorption mehr oder minder stark geschwächt. Der nicht absorbierte Anteil des Lichts wird durch einen Monochromator selektiert und trifft auf einen Detektor. Dort wird das optische Signal in ein elektrisches umgewandelt und nach entsprechender elektronischer Verstärkung registriert. Demzufolge ergibt sich für den Aufbau eines Atomabsorptionsflammspektrometers das in Abbildung 3 dargestellte Schema.



Abb. 3: Schema eines Atomabsorptionsspektrometers
(nach WALSH [1955])

Zur Unterdrückung eines Störpegels wurden folgende Wege beschritten.

Einstrahlgerät (Abb. 4): Es sollen in der Flamme keine thermisch induzierten Emissionsspektren erzeugt werden. Diese Situation ist jedoch selten gegeben. Man bringt deshalb eine rotierende Blende zwischen Lampe und Flamme an. Die so modulierte Strahlung der Lichtquelle ruft am Detektor intermittierend einen Stromfluß hervor, während die aus der Flamme stammende Emission einen konstanten Strom erzeugt. Durch eine entsprechende elektronische Schaltung läßt sich dann der durch die Emission der Flamme hervorgerufene konstante Strom ausschalten. Den gleichen Effekt erreicht man durch direkte Speisung der Hohlkathodenlampe mit Wechselstrom.

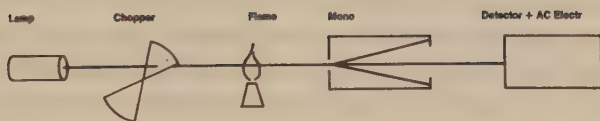


Abb. 4: Schema eines Einstrahlgerätes (KAHN [1968])

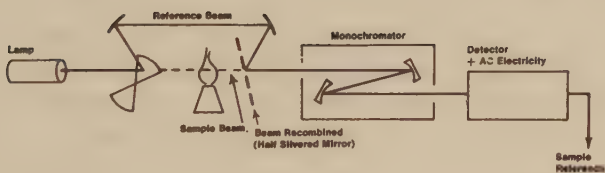


Abb. 5: Schema eines Zweistrahngerätes (KAHN [1968])

Bei einem Zweistrahngerät (Abb. 5) wird durch einen rotierenden Sektorspiegel ein Bezugssignal dadurch erzeugt, daß der von der Lampe kommende Lichtstrahl in einen Meß- und einen Referenzstrahl aufgeteilt wird. Nach Passage der Flamme werden die beiden Strahlen durch einen semitransparenten Spiegel vereinigt. Elektronisch wird aus dem Verhältnis der beiden Strahlen ein Quotient gebildet, der ein Maß für die Absorption des Meßstrahls in der Flamme ist. Auf diese Weise kann man über den Gewinn durch das Einstrahlgerät hinausgehend elektrische Leistungsschwankungen der Lichtquelle eliminieren.

Eine weitere Möglichkeit, das Zweiwellenlängenverfahren, haben MENZIES [1960] und ROBINSON [1961] vorgeschlagen, um intensive Schwankungen der Lichtquelle auffangen zu können. Man benutzt dabei eine zweite von der Lampe ausgesandte Linie, die in der Flamme nicht absorbiert wird, und bezieht darauf die Intensität der Resonanzlinie.

3.0 Bauelemente eines Atomabsorptionsspektrometers

3.1 Lichtquellen

Als Lichtquellen werden Hohlkathodenlampen, Gasentladungslampen und Kontinuumstrahler verwendet.

Zur Erzielung optimaler Meßwerte ist zunächst an die Lichtquelle die Forderung zu stellen, daß sie eine Strahlung konstanter Intensität und ausreichender Dichte liefert (MASSMANN [1967]). Es kommt weiterhin auf eine vorzügliche spektrale Reinheit der Hintergrundstrahlung und eine geringe spektrale Bandbreite an, da die Atome nur Wellenlängen der entsprechenden Resonanzlinien absorbieren, und andere Wellenlängen unbeeinflusst lassen. Bei der Verwendung eines Kontinuumstrahlers oder einer zu großen Bandbreite würden ungünstige Relationen zwischen Emission und Transmission, und damit äußerst ungünstige Meßbedingungen geschaffen (Abb. 6). Theoretisch ließe sich dieser Effekt dadurch umgehen, daß man mit Hilfe eines Monochromators den nicht absorbierten Teil der Resonanzlinien ausblendet. Monochromatoren mit einem derartig hohen Auflösungsvermögen sind gegenwärtig jedoch nicht verfügbar. Die heute in der Atomabsorptionsspektrometrie üblichen Hohlkathodenlampen müssen daher genügend schmale Resonanzlinien liefern, um ein befriedigendes Verhältnis der Breite H_e der emittierten zur Breite H_a der absorbierten Resonanzlinien zu gewährleisten (Abb. 6). Nach Berechnungen von PRUGGER [1964] genügt es, wenn H_e etwa halb so groß ist wie H_a , damit die Hintergrundstrahlung nahezu vollständig von den Atomen in der Flamme absorbiert werden kann. Die meisten der heute verwendeten Lichtquellen erfüllen diese Voraussetzung, so daß an die Monochromatoren keine zu hohen Anforderungen gestellt werden müssen (Kap. 4.0).

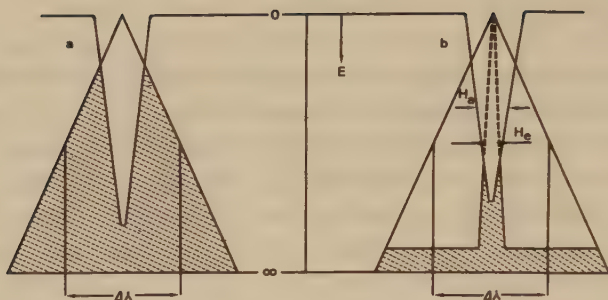


Abb. 6: Spektrale Linienprofile; a) Absorption einer Kontinuumsstrahlung; b) Absorption einer Linienstrahlung (H_e bzw. H_a : Breite der emittierten bzw. absorbierten Linie; $\Delta\lambda$: Bandbreite des Monochromators; E: Extinktion der Absorptionslinie). (Nach PRUGGER [1965]).

3.11 Hohlkathodenlampen

Eine Hohlkathodenlampe ist eine modifizierte mit Edelgas gefüllte Glimmlampe, deren Kathode aus dem zu bestimmenden Element besteht und als Hohlzylinder ausgelegt ist (HERRMANN [1966]). Beim Anlegen einer genügend hohen elektrischen Spannung zündet die Lampe, und es bildet sich zunächst eine Edelgasentladung, so daß im Spektrum Edelgaslinien erscheinen. Da diese Edelgasentladung auch im Innern des Hohlzylinders einsetzt, verdampfen nun Metallatome aus dem Kathodenmaterial in den Gasraum hinein. Während der Zeit des "Einbrennens" der Lampe treten also im Spektrum immer deutlicher die Atomlinien des Kathodenmaterials in Erscheinung (Abb. 7).

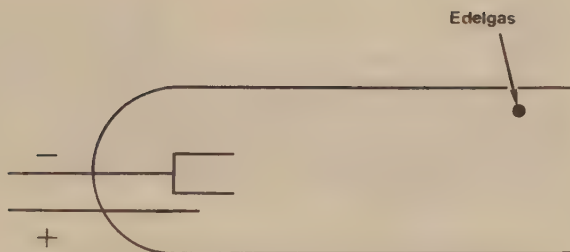


Abb. 7: Schema einer Hohlkathodenlampe

Da man für jedes zu bestimmende Element eine spezifische Hohlkathodenlampe benötigt und die Mehrzahl der Elemente einer atomabsorptionsspektrometrischen Messung zugänglich ist (Abb. 8, 9), gibt es heute Hohlkathodenlampen von mehr als 60 Elementen. Neuerdings gibt es auch Mehrelementlampen, die mehrere Metallspektren erzeugen (MASSMANN [1967]). Dabei besteht die Kathode entweder aus Legierungen, intermetallischen Verbindungen oder aus zusammengesinterten Metallpulvern. Die Anwendung ist jedoch auf die Kombination einiger Elemente beschränkt, da sonst Spektralinterferenzen und Schwierigkeiten bei der Linienselektion auftreten (KAHN [1966]). Als Beispiele seien die Kombinationen Calcium/Zink; Nickel/Mangan/Eisen/Kobalt/Kupfer; Calcium/Magnesium und Aluminium/Magnesium aufgeführt.

Um eine konstante Strahlungsintensität zu erreichen, ist - wie oben erwähnt - eine bestimmte Einbrennzeit von fünf bis dreißig Minuten nötig (KAHN [1968]). Es besteht bei den meisten Geräten die Möglichkeit, mehrere Lampen gleichzeitig vorzuheizen. Dazu sind die Hohlkathodenlampen in Metallhaltern justiert, so daß ein zügiges Arbeiten gewährleistet wird (SCHLESER [1965]).

Neuere Entwicklungen bringen eine Verbesserung der Intensität und Konstanz der Emission sowie hinsichtlich einer Verkürzung der Aufheizzeit. So zeigte sich für verschiedene Elemente, daß kleinere und in der Form veränderte Elektroden höhere Intensitäten erbringen. Bei den sog. shielded cathodes (Abb. 10) versieht man die Außenseite der Kathode mit einem Schutzmantel. So wird der Lichtstrahl auf die Innenseite der Kathode beschränkt, wodurch man eine intensivere Emission und eine längere Lebensdauer der Kathode erreicht.

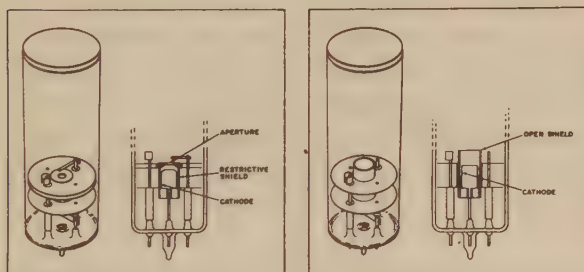


Abb. 10: Schematische Darstellung von "shielded cathodes" (KAHN [1968])

Eine weitere Modifikation bilden die sog. molten cathodes. Bei verschiedenen Elementen, wie z.B. Blei, erreicht man bei niedrigen Stromstärken nur eine geringe Emission. Erhöht man jedoch die Stromstärke, so besteht die Gefahr eines Schmelzens der Kathode. Wird bei derartigen Lampen die Innenseite des Hohlzylinders mit einem schwer schmelzbaren Metall (z.B. Titan) belegt, so schmilzt zwar bei hohen Stromstärken das Blei ebenfalls. Es bleibt aber infolge der Oberflächenspannung am Titan haften und bildet so im geschmolzenen Zustand eine Emissionsquelle hoher Intensität. Eine Bleilampe dieser Konstruktion ist eine etwa zwanzigmal stärkere Strahlungsquelle als die bisher üblichen Ausführungen. Diesen Lampentyp gibt es außerdem für Thallium, Indium, Zinn und Wismut (KAHN [1966]).

3.12 Hochintensitätslampen und andere

Hochintensitätslampen (SULLIVAN und WALSH [1965]) enthalten außer den üblichen Elektroden noch zwei Hilfselektroden (Abb. 11)

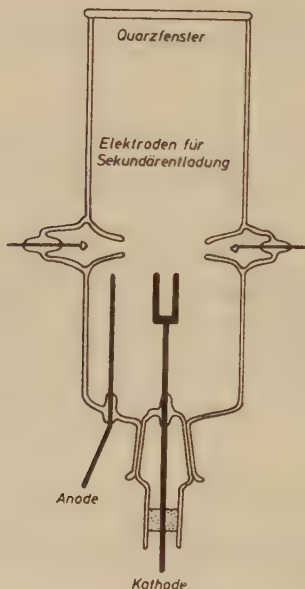


Abb. 11: Elektrodenanordnung in einer Hochintensitätslampe (MASSMANN [1967])

Diese rufen durch eine Sekundärentladung eine verstärkte Emission hervor. Da die Lampen eine zusätzliche Stromversorgung benötigen, muß ihre Verwendung speziellen Problemen vorbehalten bleiben. Ähnliches gilt für die Niederdruckentladungslampen und Kontinuumstrahler (WEST [1967], De GALAN, WINEFORDNER, Mc GEE [1967], KAHN [1968]).

3.2 Dissoziations-Absorptionseinheit

3.2.1 Brenner, Flamme und Zerstäuber

Meist liegen die zu bestimmenden Elemente im Analysenmaterial in molekularer Bindung vor. Das Prinzip der Atomabsorptionsspektrometrie erfordert jedoch für die Messung einen atomaren Zustand dieser Substanzen. Um freie Atome zu erzeugen, müssen sie verdampft und dissoziiert werden, wozu man vornehmlich eine Flamme verwendet. Diese dient gleichzeitig als Absorptionsküvette.

Bei dem meist flüssigen Analysenmaterial wird ein feiner ^{Ne}-Nebel mit Hilfe pneumatischer Zerstäuber erzeugt. In dieses Nebel-Luft- bzw. Nebel-Sauerstoffgemisch wird ein Brenngas eingeleitet und in einem Brenner gezündet. Die Konstruktion dieser Zerstäuber-Brennersysteme ist mitentscheidend für die Genauigkeit und Empfindlichkeit der Messung. Ein guter Brenner zeichnet sich durch folgende Kriterien aus (KAHN [1968]):

1. Die Absorption sollte für eine gegebene Konzentration konstant und möglichst hoch sein.
2. Der durch den Brenner hervorgerufene Rauschpegel und die Eigenabsorption sollten möglichst niedrig sein.
3. Es sollte kein "memory effect" auftreten.
4. Die Linearität der Eichkurve sollte einen weiten Bereich umfassen.
5. Vielseitigkeit hinsichtlich der Elemente und der Natur des zu zerstäubenden Lösungsmittels sollte gegeben sein.

6. Die Absorption sollte sofort nach Probeneingabe maximal sein.

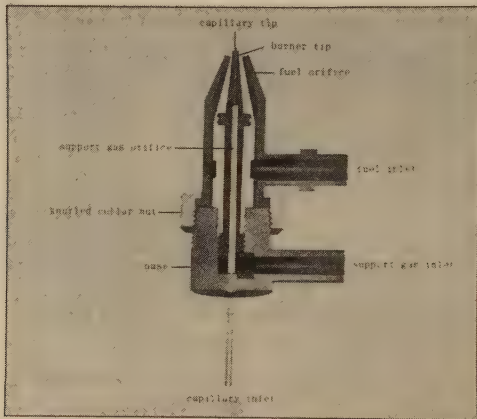


Abb. 12: Total-consumption-Brenner

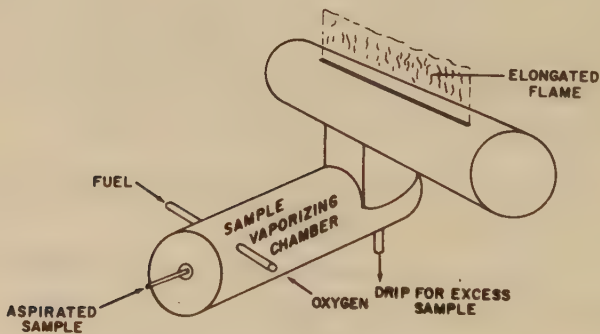


Abb. 13: Premix-Brenner (ROBINSON [1966])

Bezüglich der Zerstäubung gibt es zwei generell verschiedene Brennerkonstruktionen, nämlich das "total-consumption"-Prinzip (Abb. 12) und das "premix"-Prinzip (Abb. 13) (KAHN [1966], Robinson [1966], SLAVIN [1967]). Beim ersteren wird das Brenngas mit der im Trägergas enthaltenen Probe erst in der Flamme gemischt, beim anderen sorgt eine vorgeschaltete Kammer für eine Durchmischung von Gasen und Probe. In Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit ist die Flamme beim total-consumption-Brenner turbulent, beim premix-Brenner laminar. Weitere Unterschiede beider Brenner bzw. Zerstäubertypen sind in Abbildung 14 zusammengestellt.

	Flamme mit direkter Einstäubung der Probe	Flamme mit Vorzerstäubung der Probe
Typische Zerstäuber-Brenner-Kombination		
Übliche Brenngase	Wasserstoff-Sauerstoff Acetylen-Sauerstoff	Propan - Luft Acetylen - Luft
Typische Form der Flamme	Flammensäule mit axialer Symmetrie	gestreckte Flamme
Schichtdicke	$d \sim 1 \text{ cm}$	$d \sim 10 \text{ cm}$
Strömungsgeschwindigkeit	groß	gering
Turbulenz und Rauschen	groß	gering
Temperatur	hoch	gering
optische Dichte bei vollständiger Dissoziation der Probe	gering	groß

Abb. 14: Eigenschaften der beiden Zerstäuber-Brennersysteme für die Atomabsorptionsspektrometrie (MASSMANN [1967])

Aus der hohen Strömungsgeschwindigkeit resultiert auch bei vollständiger Dissoziation der Probe beim total-consumption-Brenner eine nur geringe optische Dichte in der Flamme. Zur Verbesserung des Absorptionsweges und damit der Nachweisgrenze schaltet man in diesem Falle mehrere Flammen hintereinander. Für beide Brennersysteme läßt sich die Nachweisgrenze weiterhin dadurch erhöhen, daß die Flamme mehrfach durchstrahlt wird (Kap. 4). Eine Verlängerung des Durchstrahlungsweges wird auch durch den Einsatz von Absorptionsröhren (RUBESKA, MOLDAN [1968], De GALAN, WINEFORDNER [1966], FUWA, VALLEE [1963]) erzielt (Abb. 15). Bei Elementen, deren Moleküle bei relativ niedrigen Temperaturen dissoziieren, wie z.B. Zink (FUWA, VALLEE [1963]), erreicht man so beträchtliche Absorptionsgewinne.

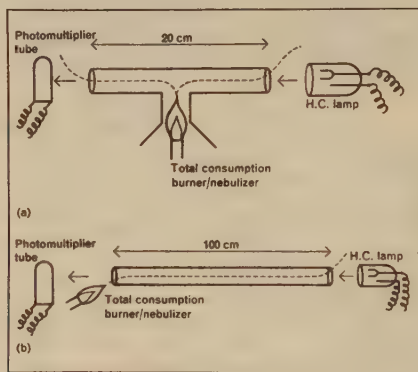


Abb. 15: Absorptionsröhren (WEST [1967])

Andererseits bedürfen einzelne Elemente zu ihrer vollständigen Dissoziation höhere Temperaturen als sie mit dem sonst üblichen Acetylen-Luft- bzw. Wasserstoff-Luftgemisch erreicht werden können. Man benötigt hierzu ein Lachgas-Acetylenmisch, das jedoch aus Sicherheitsgründen eine besondere Brennerkonstruktion voraussetzt (nitrous oxide-Brenner).

Beim premix-Brennersystem läßt sich eine Empfindlichkeitssteigerung auch durch Aufkonzentrieren der Probe in der Zerstäuber- kammer erreichen. Durch Aufheizen der Kammer auf etwa 300 - 500°C wird das Lösungsmittel verdampft, so daß im Ideal- fall nur die festen Bestandteile der Probe in den Brennerkopf gelangen. Für medizinische Fragestellungen hat sich dieses Verfahren jedoch nicht bewährt (LEHNERT [1968]).

3.22 Zerstäuberlose Systeme

Gelegentlich reichen für Spurenanalysen die bisher beschrie- benen Möglichkeiten zur Empfindlichkeitssteigerung nicht aus. Durch Umgehen der aufgrund der Zerstäubung eintretenden Sub- stanzverdünnung läßt sich in Sonderfällen eine befriedigende Nachweisgrenze erreichen. Es ist dazu notwendig, anstelle des Zerstäubers andere Systeme zu verwenden. Vielfach geht man da- bei auch hinsichtlich einer Dissoziation der Atome neue Wege, indem man die Flamme durch andere Energiequellen ersetzt. Hier- für kommen etwa Hohlkathoden, Graphitöfen oder Laserstrahlen in Betracht.

Bei der Verwendung von Hohlkathoden als Absorptionsküvetten wird der atomare Nebel durch elektrische Entladung hervorge- rufen. Sollen dabei die Absorptionslinien besonders scharf sein, etwa bei der Analyse eines Isotopengemisches, müssen die Hohlkathoden zusätzlich durch Wasser oder flüssigen Stickstoff gekühlt werden (sog. kalte Kathoden). Für die übliche Bestim- mung von Elementen reichen meist heiße Hohlkathoden aus (GATEHOUSE und WALSH [1960], MASSMANN [1967]).

Von L'VOV [1961] und MASSMANN [1967] sind Kohle- bzw. Graphit- rohre als Absorptionsküvetten beschrieben worden (Abb. 16). Die Probe wird in flüssiger oder in fester Form in ein Kohle- oder Graphitrohr eingebracht und durch einen elektrischen Lichtbogen bzw. eine elektrische Widerstandsheizung verdampft.

Bei schneller Verdampfung kleiner Proben läßt sich erreichen, daß der atomare Dampf fast der gesamten Probe in dem nutzbaren Absorptionsvolumen vorhanden ist (MASSMANN [1967]). Auf diese Weise kommt man im allgemeinen mit einem Tausendstel der Konzentration aus, die man bei Verwendung einer Flamme benötigt.

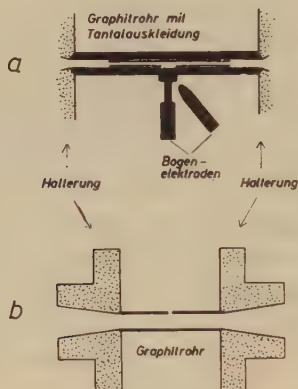


Abb. 16: Graphitküvetten nach L'Vov (a) und nach Massmann (b).
(MASSMANN [1967])

Auch durch Laserstrahlung kann eine Verdampfung von festem Probenmaterial erreicht werden. Zur Berücksichtigung der dabei auftretenden Untergrundabsorption ist hier aber ein Mehrkanalspektrometer erforderlich (HAGENAH, LAQUA und MOSSOTTI [1965]).

Eine weitere Möglichkeit, feste Analysenproben ohne Verlust schnell zu verdampfen, besteht darin, die Substanz in einem hitzebeständigen Gefäß in die Flamme zu bringen. Im allgemeinen wird für den bootförmigen Probenträger Tantal gewählt (sampling boat technic). So läßt sich für Blei eine etwa fünfzehnfache Empfindlichkeitssteigerung erreichen; auch bei der Bestimmung von Zink, Arsen, Selen, Silber, Quecksilber, Cadmium, Wismut und Thallium wirkt sich dieses Verfahren vorteilhaft

aus (KAHN, PETERSON und SCHALLIS [1968], KAHN [1968]).

BRANDENBERGER und BADER [1967] scheiden die Ionen bestimmter Elemente (Silber, Kupfer, Blei, Zink, Quecksilber) elektrolytisch bzw. durch Amalgamierung auf eine Wolfram- bzw. Kupferspirale ab. Von dieser wird im Strahlengang eines Spektrophotometers das zu bestimmende Metall durch Ohm'sche Erhitzung atomar freigesetzt. Die Nachweisgrenzen sollen bis zu 10 000mal (Quecksilber) günstiger liegen als in der Flammenabsorptionsanalyse.

3.3 Monochromator

Die Hauptaufgabe des Monochromators in der Atomabsorptionsspektrometrie besteht im wesentlichen darin, die interessierende Resonanzlinie von anderen Wellenlängen zu isolieren. Neben einem guten Auflösungsvermögen ist eine ausreichende Energieausbeute erforderlich. Bei der Atomabsorptionsspektrometrie genügt ein Auflösungsvermögen von $2\text{\AA}$ (KAHN [1966, 1968]) auch für solche Elemente, deren Resonanzlinie von anderen Linien dicht umgeben ist, wie z.B. Eisen, Nickel oder Kobalt. Ist es geringer, so werden auch nichtabsorbierbare Strahlen mitregistriert (Abb. 17), wodurch es zu einer schlechteren Nachweisgrenze (Kap. 4) und einer nichtlinearen Eichkurve kommt.

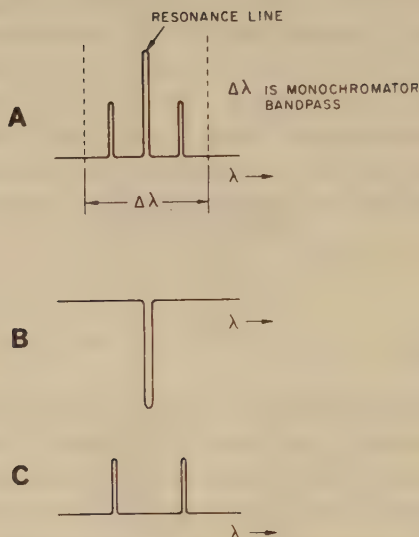


Abb. 17: Effekt eines inadäquaten Auflösungsvermögens durch einen Monochromator.

- A: der Monochromator ist auch für Nicht-Resonanzlinien durchlässig ($\Delta\lambda$: spektrale Bandbreite)
- B: vollständig absorbierte Resonanzlinie durch hochkonzentrierte Probe
- C: der Detektor registriert nur die Nicht-Resonanzlinien (KAHN [1968])

Der analytisch überstreichbare Wellenlängenbereich sollte sich zwischen $1937\text{\AA}$ (Arsenlinie) und $8521\text{\AA}$ (Cäsiumlinie) bewegen. Eine hohe Energieausnutzung und damit bessere Genauigkeit und niedrigere Nachweisgrenzen lassen sich bei Monochromatoren erzielen, wenn mit relativ großer Spaltbreite ($7 - 40\text{\AA}$) gearbeitet werden kann. Dies kommt besonders für Elemente mit unkomplizierten Emissionsspektren in Betracht (Zink, Arsen,

Selen, Calcium, Blei und Alkalien). Dieser Anforderung genügen die meist verwendeten Monochromatoren nach Littrow und Ebert-Fastie sowie dessen Modifikation nach Czerny-Turner (Abb. 18).

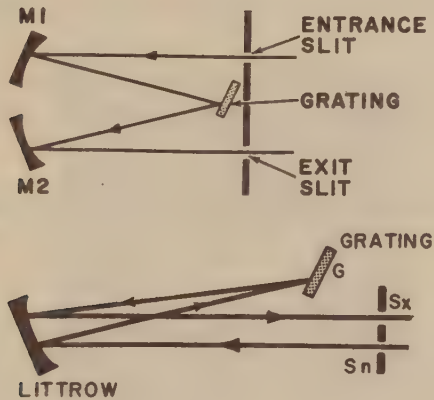


Abb. 18: Schematische Darstellung von Monochromatoren.
Oben: Monochromator nach Ebert-Fastie;
unten: Monochromator nach Littrow. (KAHN [1968])

3.4 Detektoren

Im allgemeinen werden konventionelle Fotozellen oder zur Erhöhung der Empfindlichkeit Sekundärelektronenvervielfacher verwendet.

3.5 Registriersystem

Das vom Detektor aufgenommene optische Signal kann nach elektronischer Verstärkung am Photometer direkt abgelesen werden oder zwecks Dokumentation des Meßergebnisses und Erhöhung der Ablesegenauigkeit auf Schreibsysteme übertragen werden (Abb. 19). Eine eventuelle Skalenspreizung kann die Ablesegenauigkeit zusätzlich erhöhen.

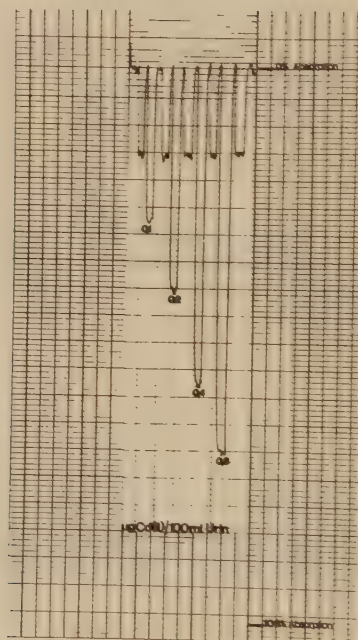


Abb. 19: Beispiel einer atomabsorptionsspektrometrischen Eichkurve (Cadmium)

4.0 Auswahl optimaler Betriebsbedingungen

4.1 Resonanzlinie

Für die Auswahl der analytischen Linie gelten bei atomabsorptionsspektrometrischen Messungen folgende Kriterien.

Die Linie sollte:

1. innerhalb des betreffenden Emissionsspektrums isoliert stehen
2. eine ausreichende Intensität besitzen
3. ein möglichst hohes relatives Absorptionsvermögen aufweisen.

Diese Bedingungen werden z.B. im Falle des Bleis von der Spektrallinie $2170\text{\AA}$ erfüllt (Abb. 20 - 22).

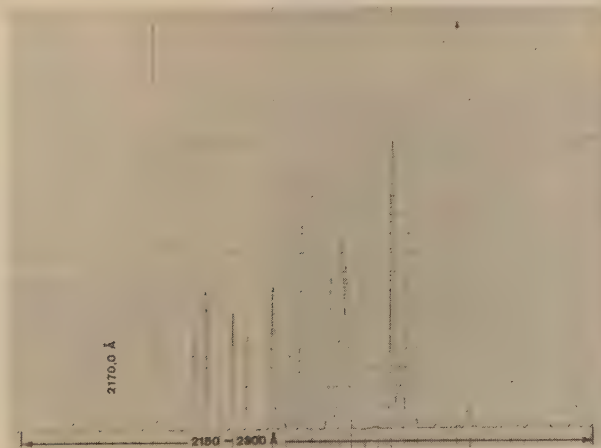


Abb. 20: Emissionsspektrum (2150 - 2300Å) einer Blei-Einzelelement-Hohlkathodenlampe

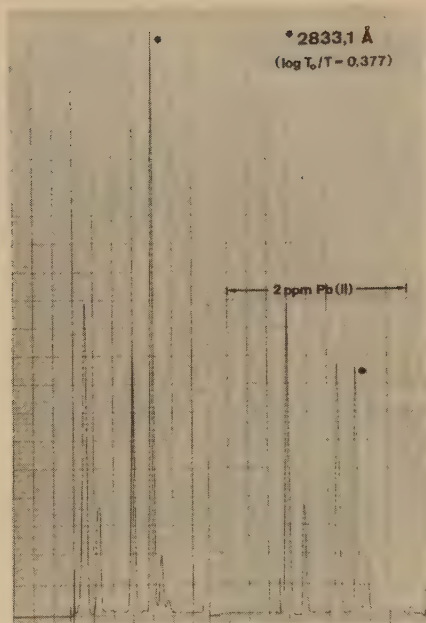


Abb. 21: Relatives Absorptionsvermögen von 2 ppm Pb(II) bei 2833,1 Å. Diese Spektrallinie weist ein relativ geringes Absorptionsvermögen auf

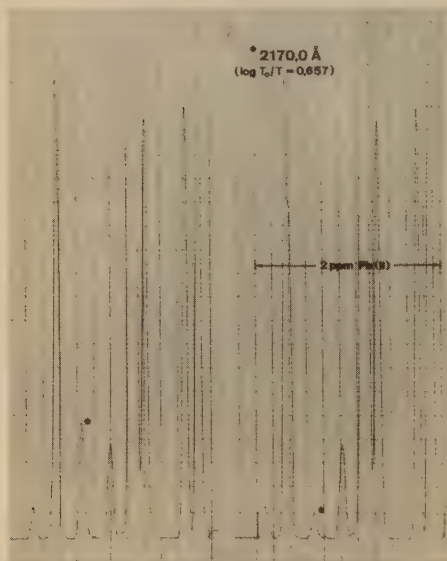


Abb. 22: Relatives Absorptionsvermögen von 2 ppm Pb(II) bei 2170 Å. Diese Linie weist ein relativ hohes Absorptionsvermögen auf

In Tabelle 1 sind die üblicherweise benutzten Spektrallinien für die Bestimmung einzelner Elemente zusammengestellt.

Tab. 1: Übliche Spektrallinien einiger atomabsorptionsspektrometrisch bestimmbarer Elemente

<u>Element</u>	<u>Spektrallinie</u>	<u>Element</u>	<u>Spektrallinie</u>
Lithium	6708 Å	Nickel	2320 Å
Magnesium	2852 Å	Kupfer	3247 Å
Calcium	4227 Å	Zink	2138 Å
Chrom	3579 Å	Cadmium	2288 Å
Mangan	3795 Å	Quecksilber	2537 Å
Eisen	2480 Å	Thallium	3776 Å
Kobalt	2410 Å	Elei	2170 Å

4.2 Spaltbreite

Eine Optimierung der Spaltbreite erweist sich nicht nur im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Bestimmung, sondern auch im Hinblick auf die Nachweisgrenze als notwendig. Es zeigt sich, daß sich die Nachweisgrenze bei einer Verengung des Spaltes erwartungsgemäß verschlechtert, aber auch eine Erweiterung des Spaltes über ein bestimmtes Optimum zu dem gleichen Effekt führt (Abb. 23).

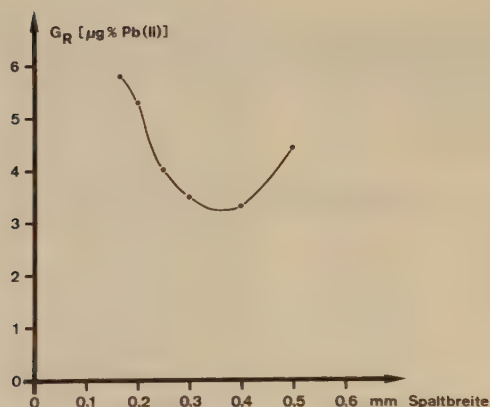


Abb. 23: Nachweisgrenze von Pb(II) in Abhängigkeit von der Spaltbreite

4.3 Brenngase

Bei der Atomabsorptionsspektrometrie werden im allgemeinen die in Tabelle 2 aufgeführten Brenngase mit Pressluft, Sauerstoff oder Lachgas als oxydierenden Gasen kombiniert. Die sich dabei ergebenden unterschiedlichen Temperaturen können ein entscheidender analytischer Parameter sein. Da die Absorption $A = \log I_0/I$ (I_0 : ungeschwächte Intensität, I : geschwächte Intensität) proportional der Zahl der Atome im Grundzustand ist, sollte die Temperatur der Flamme keinen Einfluß auf das Meßergebnis ausüben. Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung der vollständigen Zerstäubung und Dissoziation des Analysenmaterials. Praktisch läßt sich dieser Idealzustand aber nicht verwirklichen, da die Dissoziation oft unvollständig ist. Insofern stellt die Flammentemperatur einen analytischen Parameter dar (De GALAN und WINEFORDNER

[1966]). Andererseits können leicht dissoziierbare Elemente (Alkali- und Erdalkalimetalle) durch zu hohe Temperaturen ionisiert werden. Diese Atome würden durch die Messung nicht erfaßt werden. Leicht dissoziierbare Elemente zeigen daher eine höhere Absorption bei niedrigerer Temperatur, wie sie die Propan- oder Naturgasflamme erzeugt (RAMIREZ-MUNOZ [1967]).

Für die meisten analytischen Probleme ist aber die Wasserstoff-Sauerstoff-gespeiste Flamme geeignet. Wie bei den anderen Brenngasen zeigt sich auch bei dieser Kombination, nämlich Wasserstoff-Pressluft, eine Beeinflussung der Meßergebnisse durch die Gasdrucke. Eine mit steigendem Pressluftdruck zu beobachtende Absorptionserhöhung (Abb. 24) erklärt sich

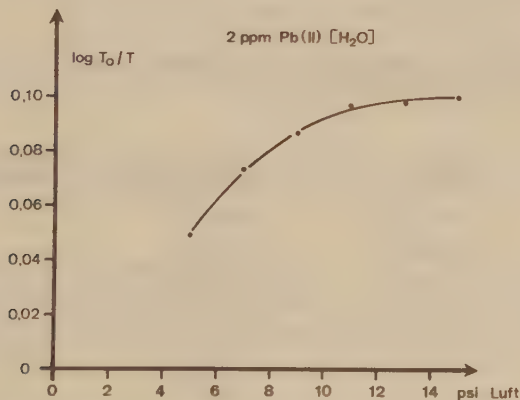


Abb. 24: Abhängigkeit der Absorption ($\log T_0/T$) vom Pressluftdruck

zwanglos daraus, daß mit zunehmenden Luftdruck das pro Zeiteinheit eingesprühte Probenvolumen zunimmt. Eine analoge Abhängigkeit der Absorption vom Wasserstoffdruck (Abb. 25) dürfte in erster Linie auf die Entwicklung einer für die Bildung neutraler Atome optimalen Flammentemperatur zurückzuführen sein.

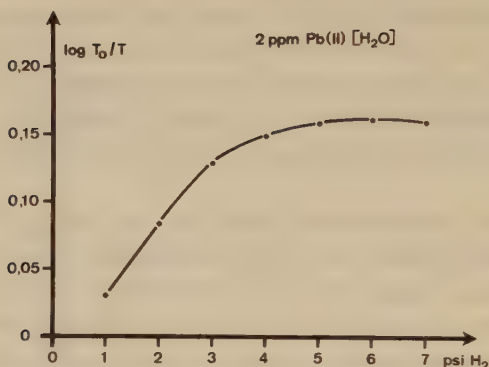


Abb. 25: Abhängigkeit der Absorption ($\log T_0/T$) vom Druck des Brenngases

Tab. 2: Flammentemperaturen bei verschiedener Gaszusammensetzung (nach WEST [1967])

<u>Brenngas</u>	<u>Luft</u>	<u>Sauerstoff</u>	<u>Lachgas</u>
Stadtgas	1727°C	2727°C	-
Propan	1927°C	2827°C	-
Butan	1927°C	2927°C	-
Wasserstoff	2127°C	2677°C	-
Acetylen	2227°C	3127°C	2957°C
Cyanogen	-	4527°C	

4.4 Durchstrahlung der Flamme

Die Reaktionszonen innerhalb der Flamme, in denen sich absorptionsfähige Atome befinden, sind nicht einheitlich, oft klein, vom Mischungsverhältnis Brenngas zu Luft abhängig und für die einzelnen Elemente verschieden (RANN und HAMBLY [1965]).

Zur Erzielung höchstmöglicher Empfindlichkeiten muß daher die Durchstrahlungshöhe der Flamme optimiert werden (Abb. 26).

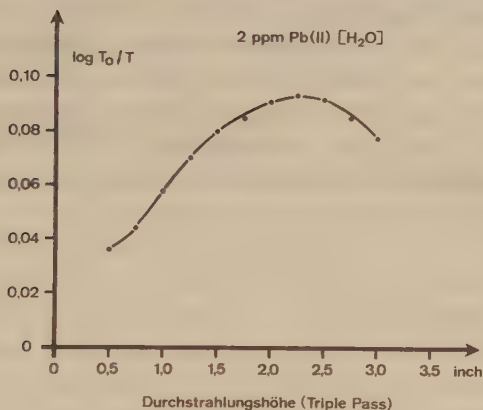


Abb. 26: Abhängigkeit der Absorption ($\log T_0/T$) von der Durchstrahlungshöhe der Flamme

Einen besseren Wirkungsgrad erzielt man ferner mit einer Mehrfach-Durchstrahlung der Flamme über entsprechende optische Systeme (z.B. triple pass bzw. five pass).

4.5 Empfindlichkeit

Die Geräteempfindlichkeit ist in der Form zu optimieren, daß durch ihre Abstimmung auf die Spaltbreite (Kap. 4.2) ein möglichst günstiges Verhältnis von Rauschpegel und Signal erzielt wird.

4.6 Skalenspreizung

Die genaue Bestimmung des Meßwertes ist letztlich auch von der Art der Aufzeichnung abhängig. Durch Anwendung einer bis zu hundertfachen Skalenspreizung läßt sich das Meßergebnis mit weit größerer Genauigkeit ablesen. Verschiedene Registrierinstrumente, die an alle handelsüblichen Atomabsorptionsspektrophotometer angeschlossen werden können, besitzen eine solche Möglichkeit. Den mit steigender Skalenspreizung zunehmenden Rauschpegel kann man durch Dämpfung und der daraus resultierenden langsameren Ansprechbarkeit des Systems reduzieren (KAHN [1968]).

5.0 Störfaktoren bei der atomabsorptionsspektrometrischen Messung

Das Atomabsorptionsverfahren ist aufgrund seiner im Prinzip der Methode begründeten Spezifität relativ frei von Störeinflüssen. Treten diese trotzdem auf, so können sie physikalischer oder chemischer Natur sein.

5.1 Spektral-Interferenzen

Störende Einflüsse von seiten des Flammenuntergrunds sind durch den Aufbau der heute handelsüblichen Geräte weitgehend ausgeschlossen (KAHN [1966], HERRMANN [1966], SLAVIN [1966]), vergl. Kap. 2.1. Eine besondere Form der spektralen Interferenz, die sog. Selbstumkehr der Emissionsstrahlung in der Lampe, kann sich nur insofern nachteilig auf den Meßvorgang auswirken, als hierdurch die Intensität des von der Lampe emittierten Lichts verändert wird. Dieses Phänomen entsteht dadurch, daß bei zu hohen Lampenstromstärken aus der Kathode herausgeschlagene Atome selbst absorbierend wirken. Bei den üblicherweise benutzten Stromstärken ist mit einem derartigen Effekt jedoch kaum zu rechnen.

5.2 Chemische Interferenzen

Chemische Interferenzen können durch eine ungenügende Dissoziation und durch eine gegenseitige Beeinflussung von Anionen bzw. Kationen hervorgerufen werden. Eine unzureichende Dissoziation läßt sich oft durch eine höhere Flammentemperatur vermeiden.

Kationen-Interferenzen wurden bisher nur bei wenigen Elementen beobachtet; sie sind gewöhnlich Folge einer in der Flamme stattfindenden Verbindung des gesuchten Metalls mit anderen Kationen.

Anionen-Interferenzen treten auf, wenn das betreffende Metall an verschiedene Anionen unterschiedlich stark gebunden ist. Die Intensität der Metall-Anionenverbindung beeinflusst den Dissoziationsgrad und reduziert damit die Bildung von normalen Metallatomen. Daraus folgt eine der Konzentration nichtproportionale Absorption. Durch Zugabe von Chelatbildnern kann dieser Effekt bei vielen Metallen beseitigt werden (ROBINSON [1966]). Speziell für Anionen-Interferenzen durch Phosphate hat sich bei der Bestimmung von Calcium und Magnesium ein Zusatz von Lanthanchlorid bewährt (WILLIS [1960], TRUDEAU [1967]).

5.3 Ionisationsinterferenzen

Bei hohen Flammentemperaturen kann es zu einer thermischen Ionisation des gesuchten Metalls kommen. Wegen der fehlenden Absorptionsfähigkeit ionisierter Atome resultiert daraus eine der zugeführten Metallmenge nicht mehr proportionale Anzeige. Zur Unterdrückung der Ionisation des zu bestimmenden Elementes setzt man der Flamme ein leicht dissoziierbares Metall zu. Dieses wirkt als Elektronendonator und "sättigt" die Elektronenkonzentration in der Flamme (MANNING und CAPACHO-DELGADO [1966], HERRMANN [1966]).

5.4 Matrixinterferenzen

Als negativer Matrixeffekt können in der Probe anwesende Salze eine Fremddabsorption hervorrufen. Diese entsteht durch Streuung des Lichts der Hohlkathodenlampe (light scattering effect) an soliden Salzpartikeln innerhalb der Flamme (SLAVIN [1966]).

Aus einer verschiedenen chemischen Zusammensetzung des Analysematerials können unterschiedliche physikalische Eigenschaften der Proben untereinander und im Bezug auf die Eichkurven resultieren, wobei sich differente Viskositäten besonders störend auswirken. So verringert etwa ein hoher Salz- oder Ei-

weißgehalt des Serums die Sprührate des Brenners, wodurch im Vergleich zu einer auf die übliche Weise hergestellten Eichkurve weniger absorbierende Atome in die Flamme gelangen. Zur Ausschaltung dieser Fehlerquellen bieten sich zwei Möglichkeiten an. Einmal können die Eichkurven den physikalischen Gegebenheiten des biologischen Materials angepaßt werden. Andererseits lassen sich durch mehr oder minder spezifische Extraktion der zu bestimmenden Elemente vergleichbare Viskositätsverhältnisse schaffen. Beide Möglichkeiten werden in Abhängigkeit von den jeweils vorliegenden Elementen benutzt. Die Anpassung der Eichkurve an die Viskosität des biologischen Materials kann dadurch erreicht werden, daß dieses unter Zugabe definierter Mengen des zu bestimmenden Metalls selbst als Referenzlösung dient (KAHN [1968], LEHNERT, SCHALLER und HAAS [1968]). Diese Methode setzt jedoch voraus, daß das betreffende Metall eine ausreichend hohe physiologische Konzentration aufweist, um eine Verdünnung der Probe zu erlauben. Da Metalle üblicherweise im Organismus nur als Spurenelemente vorliegen, sind Verdünnungen aus meßtechnischen Gründen nicht sinnvoll. Erwünscht ist hier vielmehr eine Aufkonzentrierung, die sich durch Umsetzung des Metalls mit einem Chelatbildner und anschließender Extraktion in ein kleines Volumen eines organischen Lösungsmittels erreichen läßt. Durch die Bestimmung in der organischen Phase wird darüber hinaus, als Ausdruck eines positiven Matrixeffektes, die Absorption erheblich erhöht (ROBINSON [1960], SPRAGUE und SLAVIN [1964], LEHNERT [1968]). Voraussetzung für diese Methode ist selbstverständlich, daß die Eichlösungen in gleicher Weise aufgearbeitet werden.

6.0 Chemische Aufbereitung des Untersuchungsmaterials

Um Störungen bei der atomabsorptionsspektrophotometrischen Endpunktbestimmung zu eliminieren, bedarf die Probe einer vorausgehenden chemischen Aufbereitung. In dieser Hinsicht bestehen zwischen den von den einzelnen Autoren verwendeten Methoden weitaus größere Differenzen als hinsichtlich der apparativen Bedingungen.

Inwieweit bei der Probenvorbereitung Veraschungsprozeduren erforderlich werden, ist in erster Linie davon abhängig, in welcher Bindung das betreffende Metall im biologischen Material vorliegt. Die konventionellen Veraschungsmethoden mit Säuren setzen zur Vermeidung einer Kontamination extrem reine Reagentien, und zur Verhinderung von Metallverlusten eine größere praktische Erfahrung voraus. Besonders bei den leichter flüchtigen Elementen, wie Selen, Arsen, Nickel und Quecksilber ist eine heiße Veraschung problematisch. Geeigneter ist hier ein Kalt-Veraschungsgerät, das ohne nennenswerte Verkohlung bereits bei Temperaturen von 100 - 150°C einen Aufschluß der organischen Substanz ermöglicht. Dabei wird Sauerstoff unter Druck durch ein hochfrequentes elektromagnetisches Feld geleitet und dort aktiviert. Die Oxydation des Metalls kann so ohne Verluste und ohne die Gefahr einer Kontamination sehr schonend erfolgen.

Eine Aufkonzentrierung der Spurenelemente geschieht in der Regel durch Extraktion in ein organisches Lösungsmittel nach vorheriger Ankomplexierung. Für die Chelatbildung wird meist Ammoniumpyrrolidindithiocarbamat, Na-Diäthylthiocarbamat, Na-Pyrrolidindithiocarbamat oder Dithizon verwendet, als Extraktionsmittel vorzugsweise Methylisobutylketon, Methyl-n-amylnketon und Chloroform.

Nur von einzelnen Autoren und für wenige Elemente werden zur Aufkonzentrierung Mitfällungsreaktionen eingesetzt. Man versetzt die Probe mit einem dem zu bestimmenden Element che-

misch verwandten Metall, bei dessen Fällung das Spurenelement mitgerissen wird.

Auf die in Einzelfällen zur Anreicherung beschriebenen Elektrolyseverfahren wurde bereits in Kap. 3.22 eingegangen.

Einige Anionen können in letzter Zeit ebenfalls durch die Atomabsorptionsspektrometrie erfaßt werden. Hierbei handelt es sich um ein indirektes Meßverfahren. Unter Ausnützung definierter stöchiometrischer Verbindungen mit zugesetzten Metallen und deren atomabsorptionsspektrometrische Bestimmung wird auf die Konzentrationen z.B. von Phosphationen (ZAUGG und KNOX [1966]) oder Sulfationen (TORIBARA [1967]) geschlossen.

7.0 Analytische Parameter arbeitsmedizinisch relevanter Elemente

Seit den wegweisenden Arbeiten von WALSH [1955] und ALKEMADE [1955] hat sich die Atomabsorptionsspektrometrie auch im medizinischen Laboratorium rasch durchsetzen können. Hierfür waren in erster Linie maßgebend das breite Anwendungsspektrum hinsichtlich der zu bestimmenden Elemente und des Probenmaterials, die hohe analytische Zuverlässigkeit (Spezifität, Genauigkeit und Empfindlichkeit) bei niedrigen Nachweisgrenzen und die rationelle Arbeitsweise bei minimalem Zeitaufwand. Diese Vorteile gegenüber den konventionellen Techniken zur Metallanalyse machen das Verfahren besonders für größere Untersuchungsserien attraktiv, wie sie besonders im arbeitsmedizinisch-toxikologischen Laboratorium bei Überwachungsuntersuchungen entsprechend exponierter Kollektive anfallen. Die Notwendigkeit für eine rasche, genaue und wenig störanfällige Methode zur Metallanalyse im biologischen Material und zur Messung ökologischer Schadstoffkonzentrationen (Raumluftanalysen) wird durch die Häufigkeit (über 50 %) entsprechender entschädigungspflichtiger Berufskrankheiten unterstrichen. Darüber hinaus sind in der arbeitsmedizinischen Grundlagenforschung unter den verschiedensten Aspekten (z.B. Hitzebelastung) Untersuchungen des Spurenelementhaushaltes von weitreichender Konsequenz. Aus diesen Gründen sind im Anhang die bisher veröffentlichten Arbeiten über atomabsorptionsspektrometrische Metallanalysen in biologischen Materialien hinsichtlich der wichtigsten methodischen Parameter ausgewertet.

8.0 Zusammenfassung

Die Atomabsorptionsspektrometrie hat die analytischen Möglichkeiten des arbeitsmedizinisch-toxikologischen Laboratoriums wesentlich bereichert. Mehrjährige Erfahrungen und neuere Entwicklungen machten einen Überblick über den gegenwärtigen technischen Stand dieser zuverlässigen Methode notwendig.

Nach einer Darstellung des physikalischen Prinzips dieser Meßmethode wurde ein Abriß über die Bauelemente handelsüblicher Geräte gegeben und anschließend die Kriterien für optimale Betriebsbedingungen aufgezeigt. Die Möglichkeiten zur Elimination der wichtigsten Störungsquellen wurden diskutiert. Die der Messung vorangehende chemische Probenaufbereitung gestaltet sich meist sehr einfach und zeitsparend. Die für Metallanalysen in biologischen Materialien relevante umfangreiche Literatur ist tabellarisch hinsichtlich der wichtigsten analytischen Parameter zusammengestellt worden.

9.0 Literatur

Alkemade, C.T.J., J.M. W. Milatz

Double-beam method of spectral selection with flames.
J. Opt. Soc. Am. 45, 583, 1955

Allan, J.E.

Atomic absorption spectrophotometry with special reference to the determination of Magnesium.

Analyst 83, 466, 1958

Allan, R.E., J.O. Pierce, D. Yeager

Determination of Zinc in Food, Urine, Air and Dust by Atomic Absorption.

Am. Ind. Hyg. Ass. J. 29, 469, 1968

Berman, E.

The determination of lead in blood and urine by atomic absorption spectrophotometry

Atomic Absorption Newsletter 3, 111, 1964

Berman, E.

Application of atomic absorption spectrometry to the determination of Copper in serum, urine and tissue.

Atomic Absorption Newsletter 4, 296, 1965

Berman, E.

Determination of Cadmium, Thallium and Mercury in biological materials.

Atomic Absorption Newsletter 6, 1967

Berman, E., V. Valavanis, A. Dubin

A micromethod for determination of lead in blood.

Clin. Chem. 14, 239, 1968

Blijenberg, B.G., B. Leijnse

The determination of Lithium in serum by atomic absorption spectroscopy and flame emission spectroscopy.

Clin. Chim. Acta 19, 97, 1968

Bowman, J.A.

The application of resonance monochromators to the determination of Lithium in blood serum by atomic absorption spectrophotometry.

Anal. Chim. Acta 37, 465, 1967

Brandenberger, H., H. Bader

Über flammenlose atomare Absorptionsanalyse.

Chimia 21, 597, 1967 a

Brandenberger, H., H. Bader

Die Bestimmung von Nanogramm-Mengen Quecksilber aus Lösungen durch ein flammenloses atomares Absorptionsverfahren.

Helv. Chim. Acta 50, 1409, 1967 b

Brandenberger, H., H. Bader

The determination of mercury by flameless atomic absorption II. A static vapor method.

Atomic Absorption Newsletter 7, 53, 1968 a

Brandenberger, H.

Empfindlichkeitssteigerung der atomaren Absorptionsanalyse mittels flammenloser Atomisierung.

Chimia 22, 449, 1968 b

Curnow, D.H., D.H. Gutteridge, E.D. Horgan

Determination of Strontium in serum and urine of Strontium treated subjects by atomic absorption spectrophotometry.

Atomic Absorption Newsletter 7, 45, 1968

David, D.J. The determination of Zinc and other elements in plants by atomic absorption spectroscopy.

Analyst. 83, 655, 1958

Dawson, J.B., D.J. Ellis, H. Newton-John

Direct estimation of copper in serum and urine by atomic absorption spectroscopy.

Clin. Chim. Acta 21, 33, 1968

Decker, C.F., A. Aras, L.E. Decker

Determination of Magnesium and Calcium in cerebrospinal fluid by atomic absorption spectroscopy.

Anal. Biochem. 8, 344, 1964

De Galan, L., J. Winefordner

On the influence of flame temperature in atomic emission and atomic absorption flame spectrometry.

Anal. Chem. 38, 1412, 1966

De Galan, L., W.W. Mc Gee, J.D. Winefordner

Comparison of line and continuous sources in atomic absorption spectrophotometry.

Anal. Chim. Acta 37, 436, 1967

Descube, J., N. Roques, F. Rousselet, M.L. Girard

Dosage par absorption atomique du strontium dans les milieux biologiques.

Ann. Biol. Chim. 25, 1011, 1967

Fuwa, K., B.L. Vallee

The physical basis of analytical atomic absorption spectrometry.

Anal. Chem. 35, 942, 1963

Fuwa, K., P. Pulido, R. Mc Kay, B.L. Vallee

Determination of Zinc in biological materials by atomic absorption spectrophotometry.

Anal. Chem. 36, 2407, 1964

Gatehouse, B.M., A. Walsh

Analysis of metallic samples by absorption spectroscopy.

Spectrochim. Acta 16, 602, 1960

Giese, R.

Magnesiumbestimmung in Serum und Liquor mit der
Absorptionsflammenphotometrie.

Ärztl. Lab. 12, 285, 1966

Gimblet, E. G., A. F. Marney, R. W. Bonsnes

Determination of Calcium and Magnesium in serum,
urine, diet and stool by atomic absorption spectro-
photometry.

Clin. Chem. 13, 204, 1967

Girard, M.L., F. Rousselet

L'absorption atomique au service de la biologie
V. - Progrès apportés au micro-dosage du cuivre
et du zinc.

Ann. pharm. franc. 25, 353, 1967

Haas, Th., G. Lehnert, K.-H. Schaller

Serumzinkbestimmung durch Atomabsorptionsspektro-
metrie.

Z. klin. Chem. 5, 218, 1967

Hackley, B.M., J. C. Smith, J. A. Halsted

A simplified method for plasma zinc determination
by atomic absorption spectrophotometry.

Clin. Chem. 14, 1, 1968

Hagenah, W.D., K. Laqua, V. Mossotti

XII. Colloquium Spectroscopicum Internationale.
Exeter, 282, 1965

Hambridge, K.M., D. O. Rodgers, D. O'Brien

Concentration of Chromium in the hair of normal
children and children with juvenile diabetes
mellitus.

Diabetes 17, 517, 1968

Herrmann, R., W. Lang

Serum-Kupfer-Analysen mit Hilfe der Absorptions-Flammenphotometrie.

Z. klin. Chem. 1, 182, 1963

Herrmann, R.

Grundlagen und Anwendungen der Atomabsorptionsspektroskopie in Flammen.

Z. klin. Chem. 3, 178, 1965

Herrmann, R.

Atomabsorptions-Flammenphotometrie.

Fortschr. Chem. Forsch. 5, 515, 1966

Hessel, D.W.

A simple and quantitative determination of lead in blood.

Atomic Absorption Newsletter 7, 55, 1968

Honegger, N.

Serum-Zink-Analysen mit Hilfe der Absorptionsflammenphotometrie.

Ärztl. Lab. 2, 41, 1963

Hyatt, K.H., L. Levy, M. Nichaman, M. Oscherwitz

Relationship of serum Magnesium levels to serum Cholesterol and Triglyceride levels and to myocardial infarction.

Appl. spectr. 20, 142, 1966

Iida, C., K. Fuwa, W.E.C. Wacker

A general method for magnesium analysis in biological materials by atomic absorption spectroscopy.

Anal. Biochem. 18, 18, 1967

Ivanov, N.P., M.N. Gusinski, A.D. Esikov

Z. anal. Chim. 20, 1133, 1965

Jones, J.G., J.D.R. Thomas

Flame-spectrophotometric determination of Calcium
in human saliva.

Analyst. 91, 559, 1966

Kahn, H.L., W. Slavin

Atomic Absorption Analysis.

Sci. Technol. November 1962

Kahn, H.L.

XXV. Instrumentation for atomic absorption.

J. Chem. Educat. 43, (1/2), 1966

Kahn, H.L.

Principles and practice of atomic absorption.

Adv. Chem. 73, 183, 1968

Kahn, H.L., G.E. Peterson, J.E. Schallis

Atomic absorption microsampling with the
"sampling boat" technique.

Atomic absorption Newsletter 7, 35, 1968

Kahnke, M.J.

Atomic absorption spectrophotometry applied to
the determination of Zinc in formalinized human
tissue.

Atomic absorption Newsletter 5, 7, 1966

Klein, B., J.H. Kaufman, St. Morgenstern

Determination of serum Calcium by automated
atomic absorption spectroscopy.

Clin. Chem. 13, 388, 1967

Klein, B., J.H. Kaufman, M. Oklander

Automated atomic absorption spectrophotometry.

Clin. Chem. 13, 788, 1967

Klein, B., J.H. Kaufman, M. Oklander

Automated atomic absorption spectrophotometry
III. Calcium in urine and spinal fluid.

Clin. Chem. 13, 797, 1967

Kopito, L., H. Schwachman

Determination of lead in urine by atomic absorption spectroscopy using Coprecipitation with Bismuth.

J. Lab. Clin. Med. 70, 326, 1967

Lehmann, V.

Direct determination of Lithium in serum by atomic spectroscopy.

Clin. Chim. Acta 20, 523, 1968

Lehnert, G., A. Kühner, K.-H. Schaller

Eine Schnellmethode zur quantitativen Nickelbestimmung im Harn.

Arbeitsmed. Sozialmed. Arbeitshyg. 2, 453, 1967

Lehnert, G., K.-H. Schaller

Quantitative Bleibestimmung in Blut und Harn durch Atomabsorptionsspektrophotometrie.

Med. Welt 18, 1131, 1967

Lehnert, G., K.-H. Schaller, Th. Haas

Atomabsorptionsspektrometrische Cadmiumbestimmung in Serum und Harn.

Z. klin. Chem. 6, 174, 1968

Lehnert, G.

Der Blutbleispiegel und seine Bedeutung für die Pathogenese und Prävention der beruflichen Bleivergiftung.

Stuttgart: Gentner, 1968

L'Vov, B.V.

The analytical use of atomic absorption spectra.

Spectrochim. Acta 17, 761, 1961

Manning, D.C.

Trace metals in blood plasma.

Atomic absorption Newsletter 11, 3, 1963

Manning, D.C.

Zinc in urine.

Atomic absorption Newsletter 11, 5, 1963

Manning, D.C., L. Capacho-Delgado

Dissociation and ionization effects in atomic absorption spectrochemical analysis.

Anal. Chim. Acta 36, 312, 1966

Massmann, H.

Heutiger Stand der Atomabsorptionsspektrometrie.

Chimia 21, 217, 1967

Menzies, A.C.

A study of atomic absorption spectroscopy.

Analyt. Chem. 32, 898, 1960

Monder, C., N. Sells

Influence of acids on the determination of calcium and magnesium by atomic absorption spectrophotometry.

Anal. Biochem. 20, 215, 1967

Mücke, W.

Die Atomabsorptionsspektrophotometrie in der Arbeitsmedizin.

Arbeitsmed. Sozialmed. Arbeitshyg. 1, 193, 1966

Olson, A.D., W.B. Hamlin

Serum Copper and Zinc by atomic absorption spectrophotometry.

Atomic absorption Newsletter 7, 69, 1968

Parker, M.M., F. L. Humoller, D. J. Mahler

Determination of Copper and Zinc in biological material.

Clin. Chem. 13, 40, 1967

Paschen, F.

Bohrs Heliumlinien.

Ann. Phys. 50, 901, 1916

Pierce, O.J., J. Cholak

Lead, Chromium, and Molybdenum by atomic absorption.

Arch. Environm. Health 13, 208, 1966

Prugger, H.

Bestimmung von Atomkonzentrationen durch Absorption
und Resonanzlinien.

Optik 21, 320, 1964

Prugger, H.

Entwicklung der Absorption-Flammenphotometrie zum
technischen Verfahren im chemischen Laboratorium.

Zeiss Mitteilungen: 54, 1965

Ramirez-Munoz, J.

Selection of optimum flame type atomic absorption
flame.

Beckman: Flame Notes 2, 12, 1967

Rann, C.S., A.N. Hambly

Distribution of atoms in an atomic absorption
flame.

Anal. Chem. 37, 879, 1965

Ringhardt, J., B. Welz

Anwendung und Möglichkeiten der Atomabsorptions-
spektrophotometrie.

Z. anal. Chemie 243, 190, 1968

Robinson, J. W.

Atomic absorption spectroscopy.

Industr. Chem. 226, 1962

Robinson, J.W.

Effect of organic and aqueous solvents on flame
photometric emission and atomic absorption spec-
troscopy.

Anal. Chim. Acta 23, 479, 1960

Robinson, J.W.

Atomic Absorption Spectroscopy
New York: Dekker 1966

Rodgerson, D.C., R.E. Helfer

Determination of Iron in serum or plasma by
atomic absorption spectrophotometry.
Clin. Chem. 12, 338, 1966

Schaller, K.H., A. Kühner, G. Lehnert

Nickel als Spurenelement im menschlichen Blut.
Blut 17, 155, 1968

Schleser, Fr. H.

Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)
Z. Instr. 73, 2, 1965

Schmidt, W.

Die serienmäßige Bestimmung von Kupfer und
Eisen im Blutserum mit Hilfe der Atomabsorp-
tions-Spektralphotometrie.
Z. anal. Chem. 243, 198, 1968

Schroeder, H.A., A. P. Nason, J. H. Tipton, J.J. Balassa

Essential trace metals in man: Copper.
J. chron. Dis. 19, 1007, 1966

Schroeder, H.A., J. Buckman, J.J. Balassa

Abnormal trace elements in man: Tellurium.
J. chron. Dis. 20, 147, 1967

Selander, S., K. Cramér

Determination of lead in blood by atomic
absorption spectrophotometry.
Brit. J. Industr. Med. 25, 209, 1968

Slavin, W., S. Sprague

The determination of trace metals in blood and urine by atomic absorption spectrophotometry.

Atomic Absorption Newsletter 17, 1, 1964

Slavin, W., S. Sprague, F. Rieders, V. Cordova

The determination of certain toxicological trace metals by atomic absorption spectrophotometry.

Atomic Absorption Newsletter 17, 7, 1964

Slavin, W.

Atomic-absorption spectroscopy - a critical review.

Appl. Spectr. 20, 281, 1966

Slavin, W.

Comparison of premix and total consumption burners of atomic absorption.

Atomic Absorption Newsletter 6, 19, 1967

Sprague, S.

Some atomic absorption determination of Calcium and Magnesium in blood.

Atomic Absorption Newsletter 13, 1963

Sprague, S., W. Slavin

The determination of nickel in urine by atomic absorption spectrophotometry. Preliminary study.

Atomic Absorption Newsletter 3, 160, 1964

Sprague, S., W. Slavin

Determination of Iron, Copper, and Zinc in blood serum by an atomic absorption method requiring only dilution.

Atomic Absorption Newsletter 4, 228, 1965

Sprague, S., W. Slavin

A simple method for the determination of lead in blood.

Atomic Absorption Newsletter 5, 9, 1966

Sullivan, J.V., A. Walsh

Spectrochim. Acta 21, 721, 1965

Sunderman, F.W.

Measurements of Nickel in biological materials
by atomic absorption spectrometry.

Amer. J. clin. Path. 44, 182, 1965

Sunderman, F.W., N.O. Roszel

Measurements of Copper in biologic materials
by atomic absorption spectrometry.

Amer. J. clin. Path. 48, 286, 1967

Toribara, T.Y.

Some techniques in the separation of inorganic
ions in biological material.

Separation Sci. 2, 283, 1967

Trent, D.J., W. Slavin

Clinical application of an atomic absorption
spectrophotometer linear in concentration.

Atomic Absorption Newsletter 4, 300, 1965

Trudeau, D.L., E. F. Freier

Determination of Calcium in urine and serum
by atomic absorption spectrophotometry (AAS).

Clin. Chem. 13, 101, 1967

Van Assendelft, O.W., W.G. Zijlstra, A. Buursma,
E.J. Van Kampen, W. Hoek

The use of absorption spectrophotometry for
the measurement of haemoglobin-iron, with
special reference to the determination of ⁵⁴⁰
H1CN

Clin. Chim. Acta 22, 281, 1968

West, T.S.

Atomic analysis in flames

Endeavour 26, 44, 1967

West, T.S.

Analysis by atomic-absorption spectrophotometry.
Chem. Industr. 452, 1967

Willis, J.B.

The determination of Magnesium in blood serum by
atomic absorption.
Nature 184, 186, 1959

Willis, J.B.

The determination of metals in blood serum by
atomic absorption spectroscopy.
I. Calcium.
Spectrochim. Acta 16, 259, 1960

Willis, J.B.

The determination of metals in blood serum by
atomic absorption spectroscopy.
II. Magnesium.
Spectrochim. Acta 16, 273, 1960

Willis, J.B.

The determination of Calcium and Magnesium in
urine by atomic absorption spectroscopy.
Anal. Chem. 33, 556, 1961

Willis, J.B.

Determination of lead and other heavy metals in
urine by atomic absorption spectroscopy.
Anal. Chem. 34, 614, 1962

Willis, J.B.

The analysis of biological materials by atomic-
absorption spectroscopy.
Clin. Chem. 11, 251, 1965

Woods, A.E., R.D. Crowder, J.T. Coates, J. J. Wittrig
Determination of microquantities of Lithium in
biological fluids I. Recovery studies in serum.
Atomic Absorption Newsletter 7, 85, 1968

Zaino, E.C.

Plasma Iron and Iron-binding capacity deter-
mination by atomic absorption spectrophoto-
metry.

Atomic Absorption Newsletter 6, 93, 1967

Zaugg, W.S., R.J. Knox

Indirect determination of inorganic phosphate
by atomic absorption spectrophotometric deter-
mination of Molybdenum.

Anal. Chem. 38, 1759, 1966

Zettner, A., L. Mansbach

Application of atomic absorption spectrophoto-
metry in the determination of Iron in urine.

Amer. J. clin. Path. 44, 517, 1965

Zettner, A., L.C. Sylvia, L. Capacho-Delgado

The determination of serum Iron and Iron-bin-
ding capacity by atomic absorption spectroscopy.

Amer. J. clin. Path. 45, 533, 1966

Zettner, A., A. H. Mensch

The use of atomic absorption spectroscopy
in hemoglobinometry.

Amer. J. clin. Path. 48, 225, 1967

Zettner, A., K. Rafferty, H. L. Jarecki

The determination of Lithium in serum and urine
by atomic spectroscopy.

Atomic Absorption Newsletter 7, 32, 1968

Element: Lithium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
I.A. Bowman 1967	Techtron AA-2	Resonanz- mono. 2-slot burner	6708 Å	Serum 0,5 ml	Verdünnung	s: 0,2 µg/ml	99,8 %	sens.: 0,3 µg/ml	
V. Lehmann 1968	Unicam SP 90		6708 Å	Serum	Ev.Fällg. Verdünnung	v: 1 %	101 %	sens.: 0,6 µg/ml	
B.G. Blijen- berg, E. Leijnse 1968	Beckman DU-AAS		6708 Å	Serum	Ev.Fällg. Verdünnung	v: 2 %			
A. Zettner, K. Rafferty H.J. Jarecki 1968	Perkin Elmer 303		6708 Å	Serum Urin	Verdünnung Verdünnung	v: 0,7 %	100 %		
A.E. Woods R.D. Crowder J.T. Coates J.J. Wittrig 1968	Perkin Elmer 303			Serum	Verdünnung	s: 0,45 µg/ml	102 %		

Element: Magnesium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
G. Gimblet F. Marney W. Bonsnes 1967	Perkin Elmer 214		2852 Å	Serum 0,2 ml Urin Faeces 0,1 ml Lösg.	Verdünnung Verdünnung Homogenat Veraschung	s: 2,52 mval/l s: 0,002 ppm	101 % 100 % 101,6 %		1 mg Faeces: 0,0342 mval Mg
S. Sprague 1963	Perkin Elmer			Plasma 0,015 ml	Verdünnung	s: 0,002 ppm			
D. Treut W. Slavin 1965	Perkin Elmer 290		2852 Å	Urin 1 ml	Verdünnung	s: 0,1 mg/ 100 ml			N : 8 (gesund) x : 5 mg% R : 2,2 - 8,8 mg%
J.B. Willis 1960	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	2852 Å	Serum 1 ml	Verdünnung	v: 1 %			Normwert R : 10 - 25 ppm
J.B. Willis 1961	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	2852 Å	Urin 1 ml	Verdünnung	v: 1 %			

Element: Magnesium

Autor	Gerät	Besonder- heit	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
B. Klein J. H. Kaufman M. Oklander 1967 b	Techtron AA-3	automat. Messg.	Serum 0,6 ml	Verdünnung		100 %		N : 24 (gesund) x : 1,76 mval/l s : 0,20 mval/l
Ch. Iida K. Fuwa W. Wacker 1966	Beckman 4020	Vycor cell	Serum Liquor	Verdünnung Verdünnung	v : 2 % v : 2 %	100 % 101 %		x : 1,81 mval/l s : 0,18 mval/l x : 2,39 mval/l s : 0,24 mval/l
R. Giese 1966	Zeiss PMQII		Serum 0,5 ml Liquor 0,5 ml	Verdünnung Verdünnung	v : 3,39% s : 0,04 mval/l	101 % 99,2 %		N : 100 (gesund) x : 2,14 mg/100 ml s : 0,26 mg/100 ml x : 2,4 mval/l
K. Hyatt L. Levy N. Nichaman M. Oscher- witz 1966	Perkin Elmer 303		Serum	Verdünnung	s : 0,04 mval/l	99,9 %		N : 50 (gesund) x : 1,69 mval/l s : 0,3 mval/l

Element: Calcium

Autoren	Gerät	Besonderheit	λ	Probe	chem. Vorbereitung	Genauigkeit	Richtigkeit	Nw.-Grenze	Ergebnis
J.G. Jones J.R. Thomas 1966	Unicam SP 900		4227 Å	Speichel 1 ml	Verdünnung	v: 1,5 %			N : 10 (gesund) $\bar{x}$: 51,3 µg/ml
B. Klein J.H. Kaufman M. Oklander	Techtron AA-3	automat. Messung	4226 4227 Å	Urin 0,4 ml Liquor 0,4 ml	Verdünnung Verdünnung	v: 0,4 - 0,7 % v: 0,6 %	103 % 99 %		
B. Klein J.H. Kaufman St. Morgenstern 1967	Techtron AA-3	automat. Messung	4226 4227 Å	Serum 0,6 ml	Verdünnung		99 %		
S. Sprague 1963	Perkin Elmer			Plasma 0,04 ml	Verdünnung	s: 0,01 ppm			N : 8 (gesund) $\bar{x}$: 15 mg/100 ml
D. Trent S. Slavin 1965	Perkin Elmer 290		4227 Å	Urin 1 ml Serum 0,5 ml	Verdünnung Verdünnung	s: 0,3 mg/ 100 ml s: 0,15 mval/l	98,3 %		R : 6,0-26,5 mg/100 ml

Element: Calcium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.B. Willis 1960	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	4227 Å	Serum 1 ml	Verdünnung	v: 1 %	98 - 103 %		Normwert R: 80 - 120 ppm
J.B. Willis 1961	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	4227 Å	Urin 1 ml	Verdünnung	v: 1 %			
D.L. Trudeau E.F. Freier 1967	Perkin Elmer 303		4227 Å	Serum Urin	Verdünnung Verdünnung	s: 0,22 mg/100ml v: 100 %	100 % 100 %		
G. Gimblet F. Marney W. Bonsnes 1967	Perkin Elmer 214		4226 Å	Serum 0,5 ml Urin Faeces 0,5 ml Lösung	Verdünnung Verdünnung Homogenat Veraschg.	s: 1,62 mg% v: 1,6 %	100 % 96,5 % 98,8 %		1 mg Faeces: 0,079 mval Ca

Tab.5

Element: Chrom

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
O.J. Pierce J. Cholak 1966	Perkin Elmer 303		3579 Å	Urin 1 ml Lösung. Blut 1 ml Lösung.	Veraschung Veraschung				$\bar{N} : 10$ (gesund) $\bar{x} : 4,9 \mu\text{g/l}$ $\bar{x} : 3,6 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$
D. Manning 1963	Perkin Elmer 303			Plasma 2 ml	Verdünnung	$v : 0,1\%$		d.l. 0,08 ppm sens. 0,2 ppm	
W. Slavin S. Sprague F. Rieders V. Cordova 1964	Perkin Elmer 303			Urin 2-4 ml Blut 2-4 ml	dir. Messg. Verdünnung		113 % 80 %	d.l. 0,01 $\mu\text{g/ml}$	

Tab.6

Element: Mangan

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vorbe- reitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
D. Manning 1963	Perkin Elmer 303			Plasma 2 ml	Verdünnung	v: 0,1 %		d.l. 0,04 ppm sens. 0,1 ppm	

Tab.7

Element: Eisen

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
D.O. Rodgerson R.E. Helfer 1966	Jarell Ash 82-360		2483 Å	Serum Plasma 1 ml	dir. Messg.	v: 1,6 %	97,9 %		Normwert: 87 - 279 µg %
E.C. Zaino 1967	Perkin Elmer 303		2483 Å	Plasma	Verdünnung	s: 2,7 µg/ 100 ml v: 2,5 %	96 %		Normwert: 50 - 150 µg %
W. Slavin S. Sprague 1964	Perkin Elmer 303		2483 3720 Å	Urin 2-5 ml Serum 2 ml	dir. Messg. Verdünnung			d.l. 0,05 µg/ml	N : 6 x̄ : 83 µg %

Element: Eisen

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
A. Zettner L.C.Sylvia L.Capacho- Delgado 1966	Perkin Elmer 303	wide-slot burner	2483 Å	Serum 2 ml	Ev.Fällg. Extraktion	s: 0,7 µg/ 100 ml	100 - 100 %		
A. Zettner A. Meusch 1967	Perkin Elmer 303	wide-slot burner	2483 Å	Blut Toluol- Hämoly- sat 1-2 ml	Verdünnung	s: 2,1 µg/ 100 ml v: 0,8 %	99 %		Hämoglobin-Fe N : 6 x : 268,3 µg/100ml
A. Zettner L.Mansbach 1965	Perkin Elmer 303	wide-slot burner	2483 Å	Urin 1 ml	dir.Messg.	v: 1 %	103 %		
S. Sprague W. Slavin 1965	Perkin Elmer 303	wide-slot burner		Serum 0,4 ml	Verdünnung	s: 4 µg/ 100 ml v: 2 %	90 %		N : 4 (gesund) x : 124 µg/100 ml s : 3 µg/100 ml

Element: Cobalt

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nv.- Grenze	Ergebnis
W. Slavin S. Sprague F. Rieders V. Cordova 1964	Perkin Elmer 303			Urin 2-4 ml	dir. Messg.		93 %	0,15 $\mu\text{g/ml}$	

Tab.10

Element: Nickel

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
G. Lehnert A. Kühner K.H.Schaller 1967	Beckman DU-AAS	3 Turbu- lenz Brenn- düsen triple pass	2320 Å	Urin 24 h 100 ml	Extraktion	v: 3 %	98 %	sens. 0,1 µg%	N : 23 (k.Exp.) x : 9,6 µg/24 h s : 3,8 µg/24 h
K.H.Schaller A. Kühner G. Lehnert 1968	Beckman DU-AAS	3 Turbu- lenz Brenn- düsen triple pass	2320 Å	Blut 10 ml Plasma 10 ml	Ev.Fällg. Extraktion	v: 3,5 %	106 %	sens. 0,6 µg/ 100 ml	N : 63 (k.Exp.) x : 2,7 µg/100 ml s : 1,6 µg/100 ml N : 26 x : 2,1 µg/100 ml s : 0,9 µg/100 ml
S. Sprague W. Slavin 1964	Perkin Elmer 303		2320 Å	Urin 25 ml	Extraktion		93 %	d.l. 0,002 ppm	

: Nickel

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
W.Sunderman 1965	Jarell- Ash 82-362	five pass	2320 Å	Urin 50 ml Serum 8-Glob. Ew.- Frakt.	Veraschung Extraktion	s: 0,12 µg/ 100 ml v: 6,3 % v: 5,9 % s: 2,7 µg/ gEw.	96 % 101 %		N: 17 (gesund) x: 1,8 µg/100ml s: 0,8 µg/100ml x: 19,8 µg/d s: 10,0 µg/d
J.B. Willis 1962	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	3415 Å	Urin 50 ml Urin 50 ml	Extraktion dir.Messg.		114 % 97 %		

Element: Kupfer

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
R. Herrmann W. Lang 1963	Zeiss PMQ II			Serum 1 ml	Ev. Fällg. Extraktion	v: 3,3 %	99,4 %		
S. Sprague W. Slavin 1965	Perkin Elmer 303	wide-slot burner		Serum 0,4 ml	Verdünnung	s: 4 µg/ 100 ml v: 2 %	90 %		N: 4 (gesund) I: 105 µg/100 ml s: 2 µg/100 ml
A.D. Olson W.B. Hamlin 1968	Perkin Elmer 303	3-slot burner		Serum Plasma 2 ml	Verdünnung	s: 2,4 µg% v: 1,5 %	99,5 %		♂ Normwert: I: 160 µg % R: 80 - 329,9 µg% ♂ Normwert: I: 134 µg % R: 69-258,9 µg%
E. Berman 1965	Perkin Elmer 214		3247 Å	Serum 1 ml Urin 25 ml	Ev. Fällg. Extraktion Veraschung Extraktion	s: 2 µg/ 100 ml	99 %		N: 60 (gesund) I: 133 µg % R: 80 - 170 µg% N: 10 (gesund) R: 20 - 50 µg/1
A. Schroeder P. Nason H. Tipton J. Balassa 1966	Perkin Elmer 303		3248 Å	Urin 2-5ml	dir. Messg.			d.l. 0,005 µg/ ml	Tab. 13

Element: Kupfer

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.B.Dawson D.J.Ellis H.Newton- John 1968	Eigen- bau	Absorptions- weg: 14 cm lang	3248 Å	Urin Serum	dir.Messg. Verdünnng.	v: 3 % v: 3 %	100 % 97 %		N: 10 (gesund) x: 52 µg/d R: 26-64 µg/d N: 24 (gesund) x: 95 µg % R: 78-111 µg % s: 122 µg % R: 70 -165 µg % s: 108 µg %

Element: Kupfer

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.Grenze	Ergebnis
W. Slavin S. Sprague 1964	Perkin Elmer 303		3248 Å	Urin 2-5 ml	dir. Messg.			d.l. 0,005 µg/ml	
M. Parker F. Humoller J. Mahler 1967	Perkin Elmer 303	high so- lids bur- ner head	3247 Å	Gewebe 0,2-5 g Serum	Veraschg. Messg. d. Bw. frei. Filtr.		100 % 99,8 %		N: 28 (gesund), d: 106,5 µg% s: 15,9 µg% i: 102,6 µg% s: 16,4 µg% d, s: i: 105,1 µg% s: 15,9 µg%
				Serum	Verdünnung	s: 0,02 µg/100ml	99 %		
				Urin 20 - 50 ml	Extraktion		102 %		

Element: Kupfer

Autor	Gerät	Besonder- heit	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
W.Sunderman O.Roszel 1966	Perkin Elmer 303	3247 Å	Serum 2 ml	Messg.d. Ew.frei. Filtrats	s: 1,7 µg/ 100 ml v: 1,4%	101 %	d.l. 0,08 ppm	N: 58 (gesund) x̄: 119 µg/100 ml s: 19 µg/100 ml
			Urin 50 ml	Extrak- tion	s: 0,028 µg/100 ml v: 4,6%	96 %	d.l. 0,5 ppb	N: 21 (gesund) x̄: 1,68 µg/100 ml s: 0,70 µg/100 ml
			Faeces Gewebe 0,5 g			94,7%		x̄: 18,4 µg/d s: 8,4 µg/d

Tab.16

Element: Zink

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
Th. Haas G. Lehnert K.H. Schaller 1967	Beckman DU-AAS	3 Turbu- lenz Brenndü- sen triple pass	2138 Å	Serum 1ml	Verdünnung	v: 1,1 %	99 %	sens. 0,47 µg%	N: 61 ♂ (gesund) I: 114,8 µg% s: 14,3 µg%
B. Hackley J.C. Smith J.A. Halsted 1968	Perkin Elmer 303	3-slot burner	2138 Å	Plasma	Verdünnung	s: 1,8 µg/ 100 ml	98,9 %		
D. Manning 1963	Perkin Elmer 303			Urin	dir. Messg.	v: 2 %			
J.B. Willis 1962	AAS nach Box u. Walsh		2139 Å	Urin 50 ml	dir. Messg.	v: 2,6 %	97 %		

Element: Zink

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vorbe- reitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
M. Parker F. Humoller A. Mahler 1967	Perkin Elmer 303	high so- lids bur- ner head	2138 Å	Gewebe 0,2-5g Serum	Veraschung Fällung Messg. d. Überstds.		106 % 96,5%		N: 23 (gesund) x: 89,9 µg/100 ml s: 10,3 µg/100 ml
				Urin 50 ml	Verdünnung Extraktion	s: 0,02 µg/100 ml	95,8% 97 %		
M. J. Kahnke 1966	Perkin Elmer 303			Gewebe 0,1 g	Veraschung		96,5%		

Element: Zink

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
A.D.Olson W.B.Hamlin 1968	Perkin Elmer 303	3-slot burner		Serum Plasma 2 ml	Verdünnung	s: 3,2 $\mu\text{g}\%$ v: 3,8 %	101,6 %		d x: 93,4 $\mu\text{g}\%$ R: 60,1-148,3 $\mu\text{g}\%$ s x: 89,5 $\mu\text{g}\%$ R: 59,6-132,1 $\mu\text{g}\%$
S.Sprague W.Slavin 1965	Perkin Elmer 303	wide-slot burner		Serum 0,4 ml	Verdünnung	s: 3,1 $\mu\text{g}/$ 100 ml v: 2 %	100 %		N: 4 (gesund) x: 107 $\mu\text{g}/100$ ml s: 2,7 $\mu\text{g}/100$ ml
N.Honneg- ger 1963	Beckman DU-AAS		2138 Å	Serum	Messg.d. Ew.frei. Filtrats	s: 0,01 mg/ 100 ml	107 %		
K. Fuwa P.Pulido R.McKay B.Vallee 1964	Beckman DU-AAS	long tube	2138,6 Å	Urin 24 h Serum	Verdünnung. Verdünnung.	v: 2,04 % v: 2,6 %	 99,3%	d.l. 0,002 $\mu\text{g}/$ ml	

Element: Strontium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
D.C.Curnow D.H.Gutter- ridge E.D.Horgan 1968	Techtron AA-1		4607 Å	Serum 2 ml	Verdünnung Fällung	s: 0,11 µg/ ml v: 3,5 %	99 %	d.l. 0,5 µg/ ml	
				Urin 2 ml	Verdünnung Fällung	s: 0,19 mg/ d v: 1 %	99 %		

Element: Molybdän

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.O. Pierce J. Cholak 1966	Perkin Elmer 303		3133 Å	Urin 2 ml	Veraschung			d.l. 0,20 ppm	
D. Manning 1963	Perkin Elmer 303			Plasma 2 ml	Verdünnung	±0,1 %		d.l. 0,6 ppm sens. 1,5 ppm	

Element: Cadmium

Autor	Gerät	Besonder- heit	Probs	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
G. Lehnert K.H. Schaller Th. Haas 1968	Beckman DU-AAS	3 Turbulenz Brenndüsen triple pass	2288 A	Urin 50 ml	Veraschung Extraktion	s: 0,005g/ 100 ml v: 10 %		N: 15(k. Exp.) x: 0,98 µg/d s: 0,36 µg/d x: 0,33 µg/100 ml s: 0,24 µg/100 ml
				Serum 10 ml	Veraschung Extraktion			
E. Berman 1967	Perkin Elmer 303	2288 A	Blut 5 ml	Ew. Fällung Extraktion	s: 1,9 µg/ 100 ml	104 %	d.l.: 0,005 µg/ ml	
			Urin 10 ml	Extraktion				
			Gewe- be 5 g	Veraschung			0,0025 µg/ml	

Element: Cadmium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nv.- Grenze	Ergebnis
J.B.Willis 1962	AASnaoh Box u. Walsh	10 cm tu- bular burner	2288 Å	Urin 50 ml	dir.Messg.		112 %		$\bar{x}$: 0,05 mg/l
D.Manning 1963	Perkin Elmer 303			Plasma 2 ml	Verdünnung	v: 0,2 %		d.l. 0,04ppm sens. 0,05ppm	
W.Slavin S.Sprague F.Rieders V.Cordova 1964	Perkin Elmer 303			Urin 2-4 ml Blut 2-4 ml	dir.Messg. Verdünnung		104 % 69 %	d.l. 0,01 $\mu\text{g}/\text{ml}$	

Element: Tellur

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
H. Schroeder J. Buckman J. Balassa 1967	Perkin Elmer 303		2140 Å	Gewebe Serum Urin	Veraschung	v: 5 %		d.l. 0,1 µg/ ml	N: 10 x̄: 1,07 µg/ml s: 0,12 µg/ml x̄: 0,38 µg/ml s: 0,11 µg/ml 360-1500 µg/d

Element: Quecksilber

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
E.Berman 1967	Perkin Elmer 214		2536 Å	Blut 10 ml Urin 50 ml	Ev.Fällung Extraktion Extraktion	s: 1,2 µg/ 100 ml	99 % 99,8 %	d.l. 0,01 µg/ ml d.l. 0,01 µg/ ml	
J.B.Willis 1962	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	2537 Å	Urin 200ml	Extraktion		114 %		Normwert: < 0,02 mg/l

Element: Thallium

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
W.Slavin S.Sprague F.Rieders V.Cordova 1964	Perkin Elmer 303			Urin 2-4 ml	dir.Messg.		93 %	d.l. 0.2 $\mu\text{g}/\text{ml}$	
				Blut 2-4 ml	Verdünnung		89 %		
E.Berman 1967	Perkin Elmer 303		2767 Å	Blut 5 ml	Ew.Fällung Extraktion	s: 3 $\mu\text{g}/\text{100ml}$	102 %	d.l. 0.5 $\mu\text{g}/\text{100 ml}$	
				Urin 30 ml	Extraktion				
				Gewe- be 5 g	Veraschung				

Element: Blei

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	Chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
G. Lehnert K.H. Schaller 1967	Beckman DU-AAS	3 Turbu- lenz Brenndüsen triple pass	2170 Å	Blut 10 ml Urin 50 - 100ml	Ev.Fällg. Extraktion Extraktion	v: 2,5 % v: 5 %	97 % 90 %	d.l. 1 µg % d.l. 2 µg/l	N: 350 (k.Exp.) x: 16 µg % s: 4,5 µg %
G. Lehnert 1968	Beckman DU-AAS	3 Turbu- lenz Brenndüsen triple pass	2170 Å	Blut 10 ml	Ev.Fällg. Extraktion	v: 5,7 %	99 %	d.l. 1,57 µg/ 100 ml sens. 1,44 µg/ 100 ml	x: 14,9 µg % s: 4,8 µg %
E. Berman 1964	Perkin Elmer 214		2170 Å	Blut 5 ml Urin 30ml	Ev.Fällg. Extraktion Extraktion		100 %	d.l. 20 µg/ 100 ml d.l. 20 µg/l	

Element: Blei

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
E.Berman 1968	Perkin Elmer 303	molten- lead cathode lamp	2830 Å	Blut 0,25 ml	Ew.Fällung Extraktion	s: 1,9µg%	100 %		ob.Grenze d. Norm 20 µg/100 ml
I.Kopito H.Schwach- man 1967	Perkin Elmer 303		2833 Å	Urin 25 ml	Mitfällig.	s: 2,3µg/l	99 %		N: 18 (gesund) x̄: 44 µg/d s: 31 µg/d ob.Grenze der Norm 120 µg/d
W.Slavin S.Sprague 1964	Perkin Elmer 303			Blut 10 ml Urin 25 ml	Extraktion Extraktion			d.l. 0,01ppm d.l. 0,01ppm	

Element: Blei

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem.Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.B.Willis 1962	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	2833 Å	Urin 50 ml	Extraktion Veraschung	s:0,0015mg/ l s:0,023mg/l	101 % 103 % 101 %		
D.W.Hessel 1968	Perkin Elmer 303	3-slot burner	2833 Å	Blut 5 ml	Hämolyisierg. Extraktion				$\bar{x}$: 20 µg/100ml
S.Sprague W.Slavin 1966	Perkin Elmer 303	3-slot burner	2170 Å	Blut 1 ml	Ev.Fällung dir.Messg.	v: 10 %		d.l. 0,1 µg/ ml	
W.Slavin S.Sprague F.Rieders V.Cordova 1964	Perkin Elmer 303			Urin 2-4 ml	dir.Messg.		116 %	d.l. 0,15µg/ ml	

Element: Blei

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.O.Pierce J.Cholak 1966	Perkin Elmer 303		2170 Å	Blut 5 ml	Ew.Fällung Extraktion		102 %	sens. 0,012mg/ 100 g	(k.Exp.) $\bar{x}$: 27 µg/10 g
				Blut 5 ml Lös.	Veraschung				
				Urin 25 ml	Extraktion		106 %	sens. 0,012mg/l	$\bar{x}$: 2,7 µg/100 ml
					dir.Messg.		105 %	sens. 0,20mg/l	
					Veraschung				

Element: Wismut

Autor	Gerät	Besonder- heit	λ	Probe	chem. Vor- bereitung	Genauig- keit	Richtig- keit	Nw.- Grenze	Ergebnis
J.B. Willis 1962	AAS nach Box u. Walsh	10 cm tubular burner	3068 Å	Urin 200 ml	Extraktion		101 %		Normwert: 0,02 mg/l

L e b e n s l a u f

Am 13. Oktober 1943 wurde ich als Zwillingstochter des Arztes Dr. Helmut Meichssner und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Pratzel, in Amberg geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule in Langenzenn/Mfr. trat ich in das humanistische Gymnasium in Fürth/Bay. ein, wo ich im Juli 1963 das Abitur bestand.

Anschließend begann ich das Medizinstudium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Das vor-klinische Studium beendete ich im Mai 1966 mit dem Physikum. Nach dem Wintersemester 1968/69 beabsichtige ich, hier das medizinische Staatsexamen abzulegen.

Ute Meichssner

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
